

**PROGNOSEMODELL
ZUR DEWISENKURSSICHERUNG**

Michael Bacher

1976



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555611_0033

PROGNOSEMODELL ZUR DEVISENKURSSICHERUNG

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades Doctor rerum politicarum

Dr. rer. pol.

an der Ludwig-Maximilians-Universität

München



vorgelegt von

Michael Bacher

München, November 1975



Referent:

Prof. Dr. R. Wittgen

Korreferent:

Prof. Dr. E. Witte

Tag der mündlichen Prüfung:

23. Februar 1976

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Währungspositionen und Kurssicherungs- instrumente	4
21. Die Wirkungsweise offener Devisen- positionen	4
22. Möglichkeiten der Kurssicherung	8
3. Entscheidungskriterien für die Einführung eines Prognosemodells	16
31. Komponenten des Verlustes bzw. Gewinns bei Devisengeschäften	16
32. Die Problematik der Bestimmung des Verlustrisikos	21
33. Die Prognoserechnung im Rahmen der Gesamtplanung der Unternehmung	26
34. Zusammenfassung	31
4. Konzeption des Prognosemodells	32
41. Formulierung der Aufgabenstellung	32
42. Ausgangsgrößen der Prognose	39
43. Die Prognose mittels Verweilzeitver- teilungen	47
431. Die Grundstruktur der Prognose- methode	47
4311. Grundannahmen des Prognose- modells	48
4312. Mathematische Formulierung des Phasenüberganges	52
4313. Die Möglichkeit der Planrevision	59
432. Die Ermittlung der Verweilzeitver- teilungen	61
4321. Notwendige Vorentscheidungen für die Ermittlung der Ver- weilzeitverteilungen	61
4322. Arten von Verweilzeitvertei- lungen	68
4323. Aufbereitung empirisch ermit- elter Verweilzeitverteilungen	72

	Seite
433. Die Bildung mehrgliedriger Phasenfolgen	79
4331. Die Ermittlung geradliniger Phasenfolgen	79
4332. Spezielle Strukturen mehrgliedriger Phasenfolgen	93
434. Zusammenfassung	99
44. Übertragung des Prognoseverfahrens auf die betrachtete Phasenfolge	101
441. Angrenzende Probleme	102
4411. Unterschiedliche Strukturen von Spektralvektoren	102
4412. Die Berücksichtigung von Vorauszahlungen	110
4413. Der Ausgangspunkt der Prognose	112
442. Formulierung der Prognosegleichung	115
4421. Bezeichnungen und prinzipielle Vorgehensweise	115
4422. Die Modelldarstellung	123
443. Zusammenfassung	135
5. Möglichkeiten der Prognoseüberwachung und Prognoseverbesserung	139
51. Vorbemerkungen	139
52. Fehlerarten und Maßzahlen zu deren Beurteilung	143
521. Fehlerarten	143
522. Maßzahlen der Prognoseergebnisse	150
5221. Absolute Fehlermaße	152
5222. Relative Fehlermaße	162
5223. Der Regressionskoeffizient als Maßzahl für trendartige Änderungen	169
523. Zusammenfassung	176
53. Die Verbesserung der Prognosequalität durch die Verwendung instationärer Spektren	178
531. Allgemeines	178
532. Die Prognosemethode des exponentiellen Glättens	180
533. Die Anwendung des Double Exponential Smoothing auf die Schätzung der Verweilzeitverteilungen	188

III

	Seite
534. Zusammenfassung	198
54. Regelungstheoretische Überwachungs- und Korrekturmöglichkeit	199
541. Die Grundlagen regelungstheoretischer Modelle	201
5411. Vorbemerkungen	201
5412. Grundformen der Regelung und Steuerung	204
5413. Grundlagen der analytischen Ermittlung des Übertragungsverhaltens	211
542. Regelungstheoretischer Ansatz zur Ermittlung und Überwachung der Deviseneinnahmen und -ausgaben	220
543. Zusammenfassung	232
6. Schlußbetrachtung	235
Literaturverzeichnis	241

Abkürzungsverzeichnis

a.a.O.	am aufgeführten Ort
Abb.	Abbildung
Aufl.	Auflage
Bd.	Band
BFuP	Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis
bzw.	beziehungsweise
DB	Der Betrieb
ders.	derselbe
d.h.	das heißt
Diss.	Dissertation
d. Verf.	der Verfasser
evtl.	eventuell(er)
f.	folgende
ff.	folgenden
HBR	Harvard Business Review
HdB	Handwörterbuch der Betriebswirtschaft
Hrsg.	Herausgeber
i.d.R.	in der Regel
IdW	Institut der Wirtschaftsprüfer
KWG	Kreditwesen-Gesetz
M.E.	Meines Erachtens
ÖBA	Österreichisches Bank Archiv
o.J.	ohne Jahrgang
o.V.	ohne Verfasserangabe
S.	Seite(n)
sog.	sogenannt(e)

Sp.	Spalte(n)
Tab.	Tabelle(n)
u.a.	und andere / unter anderem
u.a.m.	und anderes mehr
Ufo	Unternehmensforschung
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
WE	Währungseinheit
WISU	Das Wirtschaftsstudium
z.B.	zum Beispiel
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
ZfbF	Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung
ZfK	Zeitschrift für das gesamte Kreditwesen
z.T.	zum Teil

1. Einleitung

Aufgrund sich ändernder Devisenkurse unterliegen alle Geschäfte in Auslandswährungen - Exportgeschäfte, Importgeschäfte und Geschäfte, die reine Finanztransaktionen zur Folge haben (z.B. Kreditaufnahme und Kreditgewährung in fremden Währungen) - einem Valutarisiko, sofern die Tageseinzelpositionen, die sich aus den Valuta-Aktiva und den Valuta-Passiva der jeweiligen Währungen ergeben, nicht ausgeglichen sind. Das Valuta-Risiko kann also ausgeschlossen werden, wenn es gelingt, in den einzelnen Währungen täglich einen Ausgleich der Devisenpositionen herbeizuführen.

Voraussetzung dafür ist, daß zunächst die täglichen Salden (Aktiv- oder Passivsaldo) der einzelnen Währungen, die sich aus der laufenden Geschäftstätigkeit in ausländischen Valuten ergeben, für zukünftige Zeitpunkte prognostiziert werden können. Diese festgestellten Salden können dann durch entsprechende Kurssicherungsgeschäfte - Devisentermingeschäfte oder Aufnahme und Gewährung von Fremdwährungskrediten - ausgeglichen werden.

Liegen die Prognosewerte für die täglichen Salden in den verschiedenen Währungen für große Zeiträume vor und werden Kurssicherungsgeschäfte abgeschlossen, so bleibt das Unternehmen für entsprechend lange Zeiträume von Veränderungen der Devisenkurse unbeeinflusst. Dies bietet ihm eine konstantere Kalkulationsbasis für seine Auslandsgeschäfte und kann im Falle negativer Kursveränderungen einen wichtigen Wettbewerbsvorteil bedeuten. Für das Prognosemodell ergibt sich daraus die Notwendigkeit, die Tagessalden der verschiedenen Währungen für möglichst große Zeiträume vorzuschätzen, was eine entsprechende Modellkonstruktion erforderlich macht.

Nach einer kurzen Erläuterung des Kursrisikos bei Außenhandelsgeschäften in Abschnitt 2. und einer Diskussion grundlegender Entscheidungskriterien für die Einführung eines Prognosemodells zur Ermittlung der Devisensalden der verschiedenen Währungen in Abschnitt 3, wird in Abschnitt 4. ein Prognoseverfahren vorgestellt, das eine Schätzung der werktäglichen Devisensalden eines Unternehmens erlaubt. Neben den Devisenaktiva und -passiva, die sich aus der laufenden Geschäftstätigkeit ergeben, werden auch sonstige Finanztransaktionen (z.B. ausländischer Wertpapierbesitz) in die Betrachtung einbezogen, so daß eine Erfassung sämtlicher Devisenaktiva und -passiva einer Unternehmung erfolgt.

Bei der Schätzung der Salden wird nicht von dem einzelnen Kunden oder Lieferanten ausgegangen, um dann additiv den ausschließlich interessierenden Gesamtsaldo der jeweiligen Währung bestimmen zu können. Wir unterstellen vielmehr, daß trotz der unterschiedlichen Konditionen und Gepflogenheiten bei den einzelnen Geschäftspartnern ein statistischer "Durchschnittsgeschäftspartner" gebildet werden kann, so daß nicht der einzelne Geschäftsvorfall zu erfassen ist, sondern global die Devisenaktiva und -passiva pro Zeitpunkt und Währung ermittelt werden, woraus sich dann der Devisensaldo aus der laufenden Geschäftstätigkeit ergibt. Zu diesem aufgrund stochastischer Abhängigkeiten ermittelten Saldo werden die sonstigen Devisenaktiva und -passiva addiert, die hinsichtlich ihrer Fälligkeit und ihres Betrages als bekannt vorausgesetzt werden. Dadurch ergibt sich der über geeignete Kurssicherungsmaßnahmen auszugleichende Devisengesamtsaldo, der sich damit aus einer stochastischen und einer deterministischen Komponente zusammensetzt. Welche Instrumente zur Kurssicherung herangezogen werden, bleibt den sich an der jeweiligen gesamtwirtschaftlichen Situation orientierenden geschäftspolitischen Entscheidungen vorbe-

halten und soll nicht mehr Gegensatz dieser Untersuchung sein. Neben der Überprüfung der prinzipiellen Anwendungsmöglichkeit der verschiedenen Kurssicherungsmaßnahmen sind besonders Rentabilitätsüberlegungen ausschlaggebend.

Dieses deterministisch-stochastische Prognosemodell¹⁾ kann weiterhin durch verschiedene Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten ergänzt werden. Die Prognoseabweichungen sollen dadurch auf ein Mindestmaß reduziert werden. In Abschnitt 5, werden dazu einige statistische Maßzahlen vorgestellt, die unter Vorgabe einer bestimmten Prognosequalität eine Überwachung der Prognoseergebnisse ermöglichen. Des weiteren soll versucht werden, durch die Verwendung veränderlicher Modellparameter eine Anpassung des Prognoseverfahrens an die sich ändernde Umwelt zu erreichen, wodurch systematische Prognosefehler vermieden werden sollen. Schließlich wird in diesem Abschnitt noch ein regelungstheoretisches Überwachungs- und Korrekturverfahren vorgestellt, das durch die Verwendung von Rückinformation eine bessere Prognosequalität gewährleisten soll. Dieser Ansatz eröffnet ferner die Möglichkeit, alle vorgestellten Prognose-, Überwachungs- und Korrekturmaßnahmen in ihrem Wirkungszusammenhang geschlossen darzustellen.

Durch die Vielzahl der verschiedenen Symbole, die zur Kennzeichnung der zu betrachtenden Größen gebraucht werden, ist die Benützung einheitlicher Bezeichnungen und Indizes durch die ganze Arbeit hindurch schwer möglich, da vor allem auch versucht wurde, relativ anschauliche Bezeichnungen zu wählen. Sofern sich jedoch Änderungen von den vereinbarten Symbolen ergeben, werden diese deutlich hervorgehoben, so daß die Eindeutigkeit der Darstellung gewährleistet ist.

1) Bezüglich der Einteilungskriterien von Prognosemodellen vgl. z.B.: R. Edin, Dynamische Analyse betrieblicher Systeme. Ein Beitrag zur industriellen Planung, Berlin 1971, S. 44 ff., im folgenden zitiert als "Systeme".

2. Währungspositionen und Kurssicherungsinstrumente

21. Die Wirkungsweise offener Devisenpositionen

Neben den Risiken, die sich aus dem Geschäftsverkehr im nationalen Bereich ergeben, tritt bei Auslandsgeschäften in aller Regel noch das Valutarisiko hinzu, da die beiden Geschäftspartner in unterschiedlicher Währung fakturieren. Das Valutarisiko ergibt sich durch das sich ändernde Werteverhältnis zwischen der Inlandswährung und der Auslandswährung, wobei sich die Veränderungen aufgrund folgender Vorgänge ergeben können:

- 1) Aufwertung oder Abwertung der Inlands- und/oder der Auslandswährung
- 2) Schwankungen der Devisenkurse innerhalb von Interventionspunkten
- 3) Schwankungen der Devisenkurse ohne Vorhandensein begrenzender Interventionspunkte

Während der Gültigkeit des Bretton-Woods-Abkommens waren die ersten beiden Punkte von ausschließlicher Bedeutung, und man bezeichnete Fall 1 als Währungsrisiko und Fall 2 als Kursrisiko¹⁾. Die Aufgabe der festen Paritäten im Frühjahr 1973 ermöglicht freie Schwankungen der Devisenkurse, was sich z.T. in erheblichen Kursveränderungen niederschlägt. Da auf der anderen Seite im Rahmen der "Europäischen Währungsschlange" feste Wechselkurse existieren, sind alle drei getroffenen Unterscheidungsmerkmale heute von Bedeutung. Wir wollen daher unabhängig von den Vorgängen, die zu einer veränderten Kursrelation führen, das damit verbundene Risiko als Kursrisiko bezeichnen.

1) vgl. R. Wittgen, Die Geldpolitik der Geschäftsbanken, Frankfurt/M. 1965, S. 62, im folgenden zitiert als "Die Geldpolitik"; M. Hein, Die internationalen Geldmarktgeschäfte westdeutscher Banken, Berlin 1966, S. 75 ff., bes. Fußnote 62, S. 77

Durch die Veränderung der Wechselkurse wird jedoch erst dann ein Kursrisiko begründet, wenn in der Zeit der sich ändernden Paritäten offene Devisenpositionen¹⁾ bestehen, die damit im Zeitablauf eine veränderte Bewertung erhalten. Die veränderte Bewertung kann je nach der bestehenden Konstellation zu Kursverlusten oder auch zu Kursgewinnen führen. "Ein Verlust entsteht, wenn durch ein Auslandsvalutageschäft entweder a) eine Forderung erworben wird und der Wert der Auslandswährung - ... - sinkt oder b) eine Verbindlichkeit begründet wird, und der Wert der Auslandswährung ... steigt"²⁾. Entsprechend tritt ein Kursgewinn bei umgekehrter Situation ein. Da für das einzelne Unternehmen der Devisenkurs ein Datum ist, kann es lediglich durch eine entsprechende Gestaltung seiner Devisenpositionen die gewünschte Situation herbeiführen. Die Devisenpositionen können sich aus vielerlei Beträgen zusammensetzen, was die Berücksichtigung all dieser Komponenten erforderlich macht.

Für Unternehmen mit einem regen Auslandsgeschäft - und nur solche sollen hier betrachtet werden - kann es sinnvoll sein, Währungskonten für die Auszahlungen für Importe und Einzahlungen aus Exporten einzurichten. Dadurch ist es möglich, Aufwendungen für Provisionen, Courtagen und Geld-Brief-Kursspannen einzusparen und eine direkte Verrechnung der Soll- und Habenbuchungen vorzunehmen³⁾.

1) Die Bedeutung offener Devisenpositionen ist besonders durch die z.T. spektakulären Devisenverluste von Banken im Jahre 1974 hervorgetreten, was zur Einführung des Grundsatzes Ia zum 1. Oktober 1974 führte, der eine Beschränkung des Devisenhandels der Banken mit sich bringt. Vgl. Kommentare zum Kreditwesengesetz; o.V., Beschränkungen des Devisenhandels durch Grundsatz Ia gemäß KWG. In: Bank-Betrieb 10/1974, S. 422 f.

2) R. Wittgen, Die Geldpolitik, a.a.O., S. 62

3) Vgl. H. Lipfert, Nationaler und internationaler Zahlungsverkehr, 2. Aufl., Wiesbaden 1970, im folgenden zitiert als "Nationaler".

Die Zu- und Abgänge werden sich jedoch nur in den seltensten Fällen voll ausgleichen, so daß sich ein aktiver oder passiver Saldo auf dem Währungskonto bildet, der sich nach Höhe und Vorzeichen im Zeitablauf verändern wird. Neben einem direkten Währungskonto können jedoch noch weitere Aktiva und/oder Passiva in einer ausländischen Währung vorliegen. So stellen etwa ausländischer Wertpapierbesitz, im Ausland belegener Grundbesitz oder Forderungen, die in ausländischer Währung zu begleichen sind, Währungsaktiva dar, und in ausländischer Währung zu bezahlende Verbindlichkeiten oder in Anspruch genommene Währungskredite¹⁾ sind Beispiele für Währungspassiva. Faßt man sämtliche Aktiva und Passiva einer bestimmten Währung zusammen, so wird durch deren Saldo die Valuta-Einzelposition der bestimmten Währung angegeben.

Verfügt ein Unternehmen über Vermögenswerte in mehreren Valuten, so ergeben sich entsprechend der Anzahl der unterschiedlichen Währungen ebensoviele verschiedene Valuta-Einzelpositionen. Die Zusammenfassung der verschiedenen Valuta-Einzelpositionen bildet die Valuta-Gesamtposition, die eine Gegenüberstellung sämtlicher Währungsaktiva und -passiva unabhängig von den einzelnen Währungen darstellt.²⁾ Die Beschaffenheit dieser Positionen, Aktiv-, Passiv- oder Nullsaldo, ist entscheidend für das Verlustrisiko bzw. die Gewinnchancen aus dem Devisengeschäft. "Liegt eine ausgeglichene Gesamtposition vor, dann läßt eine Wertänderung der Inlandswährung weder einen Verlust noch einen Gewinn entstehen, unabhängig davon, ob zugleich alle Einzelpositionen ausgeglichen sind oder nicht"³⁾. Ändern sich

-
- 1) Der Grund für die Aufnahme von Fremdwährungskrediten kann z.B. in den infolge eines unterschiedlichen Zinsniveaus bestehenden günstigeren Konditionen für Fremdwährungskredite liegen.
 - 2) Vgl. R. Wittgen, Währungsrisiko und Devisenkurssicherung, Frankfurt/M. 1975, S. 19ff., im folgenden zitiert als "Währungsrisiko".
 - 3) R. Wittgen, Währungsspekulation- Krisenursache oder Krisensymptom? In: ÖBA, Heft V, 1974, S. 166, im folgenden zitiert als "Währungsspekulation".

jedoch eine oder mehrere Auslandswährungen, so bietet eine ausgeglichene Gesamtposition keinen genügenden Schutz gegen Kursverluste, da die Einzelpositionen noch aktive oder passive Salden aufweisen können, die sich nur insgesamt wiederum aufheben. Ein sicherer Schutz vor Kursverlusten kann also nur dann erreicht werden, wenn alle Einzelpositionen und somit auch die Gesamtposition ausgeglichen sind, wodurch Verluste auf der einen Seite durch Gewinne auf der anderen Seite kompensiert werden. Treten z.B. aufgrund eines nachgebenden ausländischen Devisenkurses Verluste bei den Aktiva dieser Währung ein, so nehmen die Verbindlichkeiten in dieser Valuta gleichermaßen ab, wodurch sich der Ausgleich ergibt.

Ausgeglichene Einzelpositionen werden sich jedoch durch den Geschäftsverlauf nicht automatisch ergeben, sondern sind durch die Bildung zusätzlicher Valutaaktiva oder -passiva herbeizuführen. Die mit dem Devisengeschäft verfolgte Zielsetzung entscheidet darüber, inwieweit die Einzelpositionen auszugleichen sind.

Werden Devisengeschäfte auch oder ausschließlich zur Spekulation¹⁾ getätigt, so versucht man bei einer sich abschwächenden Inlandswährung eine möglichst stark

1) Zur Problematik der Währungsspekulation vgl. u.a.: O. Hahn, Geld- und Devisenhandel, Stuttgart 1964; H. Hochgesand, Theorie der Devisenspekulation, Berlin 1974; H. Lipfert, Devisenhandel, Frankfurt/M. 1958, im folgenden zitiert als "Devisenhandel"; H. Lipfert, Internationaler Devisen- und Geldhandel, 3. Aufl., Frankfurt/Main 1969; B. Schiemenz, Optimale adaptive Devisenarbitrage. In: Zeitschrift für Operations Research, Band 17, 1973, S. B 97 ff.; J. Timm, Optimaler internationaler Devisen- und Geldhandel, Diss., Darmstadt 1970; R. Wittgen, Gewinnoptimierung im Devisen- Eigengeschäft von Kreditinstituten. In: ZfB 1968, S. 137 ff., im folgenden zitiert als "Gewinnoptimierung"; R. Wittgen, Devisenspekulation. In: Manager Magazin, August 8/1974, S. 19 ff., im folgenden zitiert als "Devisenspekulation".

aktive Gesamtposition, dagegen bei einer festen Tendenz eine passive Gesamtposition herbeizuführen. Entsprechend strebt man je nach den erwarteten Kursveränderungen ausländischer Währungen aktive bzw. passive Einzelpositionen an. Demgegenüber spielen bei reinen Kurssicherungsgeschäften die erwarteten Kursbewegungen keine Rolle, da man hierbei ausschließlich versucht, ausgeglichene Positionen zu schaffen. Gelingt ein Ausgleich aller Einzelpositionen, so können keine Kursverluste mehr eintreten; man begibt sich jedoch damit auch der Chance, evtl. Gewinne aus dem Devisengeschäft zu ziehen.

Wir wollen uns in dieser Arbeit ausschließlich mit dem Ziel der Kurssicherung beschäftigen und Verfahren aufzeigen, wie man eine möglichst ausgeglichene Position je Währung und Zeitpunkt erreichen kann. Bevor wir in den Abschnitten 4. und 5. Möglichkeiten der Saldenprognose besprechen, sollen hier zunächst die prinzipiellen Wege des Saldenausgleichs vorgestellt werden.

22. Möglichkeiten der Kurssicherung

Für zwei Geschäftspartner A und B verschiedener Nationalität bestehen grundsätzlich drei Möglichkeiten der gegenseitigen Abrechnung:

- 1) In der Inlandswährung von A; damit wird das gesamte Kursrisiko auf B überwälzt;
- 2) In der Inlandswährung von B; A trägt dann das Risiko;
- 3) In einer dritten Währung, die so zu wählen ist, daß beide Partner möglichst gleichmäßig durch das Kursrisiko betroffen werden.

Welche der drei Abwicklungsformen zur Anwendung gelangt, hängt wesentlich von der Marktmacht der einzelnen Geschäftspartner ab und somit von der Möglichkeit, das Risiko auf

den anderen zu überwälzen¹⁾. "Auf einem sellers market wird der Exporteur Zahlung in seiner Inlandswährung und auf einem buyers market wird der Importeur Zahlung in seiner Inlandswährung beim Vertragsabschluß durchsetzen können"²⁾. Kann ein Unternehmen die Abrechnung in seiner Inlandswährung erzwingen, entfällt auch bei Auslandsgeschäften - zumindest in den jeweiligen Geschäftsbereichen - das Kurssicherungsproblem. Für sonstige Währungsaktiva und -passiva des Unternehmens sind ebenfalls Sicherungsmaßnahmen zu ergreifen, wie dies bei der Abrechnung in der Landeswährung des Geschäftspartners oder einer Drittwährung der Fall ist.

Als grundlegende Maßnahmen der Kurssicherung kommen hier in Betracht³⁾:

- a) Aufnahme und Gewährung von Fremdwährungskrediten und
- b) Devisentermingeschäfte

Beide Verfahren basieren auf dem Prinzip des Saldenausgleichs, so daß bei einem Aktivsaldo entsprechende Währungspassiva und bei einem Passivsaldo Währungsaktiva gebildet werden.

Zu a) Begründet ein deutscher Exporteur/Importeur am 1.6. eine Verbindlichkeit in Höhe von 200 US-\$, die in 4 Monaten fällig ist, so kann er sich gegen ein evtl. Ansteigen der Dollarwährung - was ihm einen entsprechenden Verlust bringen würde - schützen, indem er am 1.6. einen Viermonatskredit von 200 US-\$ vergibt und am 1.10. den zurückgezahlten Kredit

1) Inwieweit das Risiko durch eine entsprechende kalkulatorische Berücksichtigung doch wieder aufgeteilt wird, hängt von der jeweiligen Preiselastizität ab.

2) H. Lipfert, Nationaler, a.a.O., S. 141

3) Im Rahmen dieser Arbeit können die vielfältigen Kurssicherungsmöglichkeiten nicht ausführlich besprochen werden. Vgl. hierzu die eingehende Untersuchung von R. Wittgen, Währungsrisiko, a.a.O., S. 53 ff.

zur Begleichung seiner Importverbindlichkeit benützt. Er kann in diesem Fall seiner Kalkulation die Kursstellung vom 1.6. zugrundelegen und wird von evtl. Kursänderungen bis zum 1.10. nicht tangiert. Besitzt dieser Exporteur/Importeur z.B. ein US- $\text{\$}$ Konto in New York, so wird er eine durch das Exportgeschäft entstandene Sichteinlage von 200 US- $\text{\$}$ nicht gegen DM verkaufen, sondern z.B. diese im Rahmen des Euro-Geldmarktes¹⁾ einer deutschen Geschäftsbank zur Überbrückung dieser 4 Monate verzinslich zur Verfügung stellen. Besitzt er die Sichteinlage am 1.6. nicht, so hat er die Möglichkeit, die 200 US- $\text{\$}$ am 1.6. zu kaufen und entsprechend einen Viermonats-Währungskredit zu vergeben, wodurch sich der gleiche Kurssicherungseffekt

-
- 1) "Auf dem Euro-Geldmarkt werden Sichtguthaben bei Geschäftsbanken außerhalb des Währungsbereiches, in dem diese Banken domizilieren, auf dem Kreditwege gehandelt". W. Schäfer, Grundzüge des Euro-Geldmarktes. In: WISU 3/1974, S. 111.
Zur Problematik des Euro-Geldmarktes, der besonders in Verbindung mit der "Ölkrise" an Bedeutung gewann, vgl.: H. Brandes, Der Euro-Dollarmarkt, Wiesbaden 1968; H. Büschgen, der Euro-Dollarmarkt als internationaler Geldmarkt. In: ZfB 1967, S. 97 ff.; P. Einzig, The Euro-Dollar System, London 1964; W. Guth, Zur Problematik des Eurogeld- und Eurokapitalmarktes aus der Sicht der Banken. In: ZfK 22/1970, S. 17 ff.; G. Kirchhain, Gefahren am Euromarkt, In: WISU 11/1974, S. 551 ff.; H. Kohlhoff, Die Marktmacht des Eurogeldes. In: ZfK 12/1974, S. 511 ff.; H. Mandel, Euro-Devisen- Ihre Entstehung und Verwendung. In: ÖBA 1966, S. 118 ff.; W. Schäfer, Der Euro-Dollarmarkt, Tübingen 1971; J. Uhlig, Londoner Euro-Löcher. In: ZfK 23/1974, S. 1081f.
Sieht man den Euromarkt im Zusammenhang mit der Ölkrise, so sind vor allem auch die Probleme des Realtransfers von Bedeutung. Für die angrenzende Problematik sollen noch einige wenige Literaturangaben gegeben werden: H. Abs, "Recycling" - Aufgaben und Probleme. In: ZfK 22/1974, S. 1026 f.; H. Adebahr, Zwischenphase zur Bewältigung der Ölkrise. In: Wirtschaftsdienst 1/1975, S. 26 ff.; E. Bechler, Zur güterwirtschaftlichen Theorie der internationalen Kapitalbewegung, Frankfurt/M. 1972; H. Mayer, Der Eurogeldmarkt als Recycling-Medium. In: Wirtschaftsdienst 3/1975, S. 136 ff.; G. Tichy, Ölkosten - Ein Transferproblem. In: Sparkasse 2/1975, S. 29 ff.; W. Trautmann, Kissingers Mammutfonds. In: ZfK 1/1975, S. 65 ff.

entfaltet. Entsprechend kann bei der Egalisierung von Devisenaktiva verfahren werden. In diesem Fall kann bis zum Fälligkeitstag des Aktivums ein Fremdwährungskredit in Anspruch genommen werden, der dann mit dem zurückfließenden Forderungsbetrag getilgt werden kann. Der Kurs, zu dem der Kredit erworben wurde, ist dann gleichzeitig der Rückzahlungskurs und damit die Kalkulationsbasis für die eingehenden Forderungen.

Um eine exakte Kurssicherung durch die Vergabe bzw. Inanspruchnahme von Fremdwährungskrediten zu erreichen, müssen jedoch die Zinszahlungen berücksichtigt werden. Bei relativ hohen Zinssätzen und langen Laufzeiten können sich sonst entsprechend große Fehlerquellen ergeben. Angenommen, eine Dollarforderung von 110 000 US-\$, die nach einem Jahr fällig ist, wird durch die Aufnahme eines Dollarkredites abgesichert, der bei jährlicher Zinszahlung mit 10% zu verzinsen ist. Würden in diesem Beispiel 110 000 US-\$ aufgenommen, so wären am Ende des Jahres $110\,000 + 10\% = 121\,000$ US-\$ zurückzuzahlen. Der Forderungsbetrag beläuft sich jedoch auf 110 000 US-\$, so daß durch die Absicherung ein zusätzliches Devisenpassivum geschaffen würde. Sind also gleichzeitig mit der Rückzahlung eines Kredits - gleichgültig, ob es sich um eine Kreditvergabe oder -inanspruchnahme handelt - auch die Zinsen fällig, so ist der aufzunehmende bzw. zu begebende Kreditbetrag um die letzte Zinszahlung zu bereinigen. Bezeichnet man mit:

i = Zinssatz in % p.a.

p = Zinsbelastung umgerechnet auf die Laufzeit der letzten Zinszahlung (Dezimalbruch)

K = aufzunehmender bzw. zu gewährender Kreditbetrag

S = der abzusichernde Saldo¹⁾

1) Auf die unterschiedliche Erfassung von Aktiv- und Passivsaldo wird in Abschnitt 31. näher eingegangen.

So errechnet sich K:

$$K = \frac{S}{1 + p}$$

Für unser Beispiel ergibt sich damit ein aufzunehmender Betrag:

$$K = \frac{110\,000}{1 + 0,1} = 100\,000 \text{ US-}\$$$

Damit entspricht die Dollarforderung genau der Gesamtbelastung (Zahlungsverpflichtung) am Ende der Laufzeit des Kredites und kann daher zu dessen Tilgung verwendet werden.

Fallen während der Laufzeit eines Kredites zwischenzeitliche Zinszahlungen an, so ist zu überlegen, ob diese Beträge zusätzlich abzusichern sind. Da Höhe und Fälligkeit genau bekannt sind, ist die Absicherung selbst kein Problem.

Zu b) Ebenso wie bei der Kurssicherung mittels Währungskrediten bewirken Devisentermingeschäfte eine Risikokompensation, indem für einen späteren Zeitpunkt Devisen zu einem festen Kurs gekauft oder verkauft werden. Der Kurs, zu dem die Devisen per Termin gekauft bzw. verkauft werden, wird bei Vertragsabschluß festgelegt, so daß für den Käufer bzw. Verkäufer von Termindevisen kein Kursrisiko mehr besteht.

Je nach den erwarteten Kursentwicklungen, dem Zinsniveau zwischen beiden Ländern und einer Vielzahl weiterer Einflußfaktoren¹⁾ wird der Devisenkassakurs mehr oder weniger

1) Vgl.: P. Janocha, Intervention und Kooperation der Zentralbanken auf den Devisenmärkten nach dem zweiten Weltkrieg. In: Kieler Studien Nr. 74 (Hrsg. E. Schneider), Tübingen 1966; M. Neldner, Die Kursbildung auf dem Devisenterminmarkt und die Devisenterminpolitik der Zentralbanken, Berlin 1970; E. Schneider, Zahlungsbilanz und Wechselkurs, Tübingen 1968; W. Schwilling, Die kursbildenden Faktoren am Devisenmarkt, Diss., Köln 1963

stark von dem Devisenterminkurs abweichen oder diesem auch gleich sein. "Liegt der Termin - über dem Kassakurs, so nennt man die Differenz Report, liegt er darunter, spricht man von Deport. Als Oberbegriff für Report und Deport ist der Terminus Swapsatz gebräuchlich, für den gleichzeitigen Abschluß von Kassa- und Termingeschäft der Ausdruck Swapgeschäft"¹⁾. Je nachdem ob ein Report oder ein Deport bei der betrachteten Währung vorhanden ist und ob ein Aktiv- oder Passivsaldo abzusichern ist, ergibt sich durch das Kurssicherungsgeschäft ein Aufwand oder Ertrag. Will der deutsche Exporteur/Importeur aus obigem Beispiel die Dollarverbindlichkeit in Höhe von 200 US- $\text{\$}$ per 1.10. durch einen Terminkauf per 1.10. kurssichern, so entsteht ihm ein Aufwand, sofern der Dollar mit Report gehandelt wird. Ist der Kassakurs per 1.6. z.B. $2,32^{\text{DM}}/\text{US-}\mathfrak{S}$ und der Terminkurs $2,40^{\text{DM}}/\text{US-}\mathfrak{S}$, so hat er pro Dollar einen Aufwand von 8 Pfg. Werden die beiden Währungen mit einem Deport gehandelt, erzielt er einen entsprechenden Ertrag. Genau umgekehrt verhält es sich bei der Absicherung eines Aktivsaldos.

Betrachtet man die Kurssituation am 1.10., so kann eine ex post Analyse über den tatsächlich eingetretenen Aufwand bzw. Ertrag des Devisentermingeschäfts Aufschluß geben²⁾. Beläuft sich der Kassakurs am 1.10. auf $2,35^{\text{DM}}/\text{US-}\mathfrak{S}$, so erleidet der Importeur durch das Kurssicherungsgeschäft einen Verlust von 5 Pfg pro Dollar, ist der Kurs z.B. $2,42^{\text{DM}}/\text{US-}\mathfrak{S}$ so erzielt er einen effektiven Gewinn von 2 Pfg je Dollar. Die ex post Analyse stellt damit einen Vergleich zwischen Kurssicherung und ungesicherten Salden dar und ist damit ein Kriterium zur

1) M. Hein, a.a.O, S. 79

2) Vgl. H. Lipfert, Devisenhandel, a.a.O., S. 151 f.

Beurteilung, ob Kurssicherungsgeschäfte überhaupt durchgeführt werden sollen. Hat man sich jedoch für die Durchführung einer Kurssicherung entschieden, so ist die nachträgliche Untersuchung, ob ein relativer Gewinn oder Verlust eingetreten ist, nur für Überlegungen bezüglich späterer Kurssicherungsmaßnahmen von Belang.

Die entscheidende Bedeutung der Devisentermingeschäfte¹⁾, die auch über den einzelwirtschaftlichen Bereich hinaus geht, liegt in der Fixierung der Devisenkurse für den entsprechenden Zeitraum, was dem Exporteur und Importeur eine gesicherte Kalkulationsbasis verschafft. Hat z.B. ein Exporteur in einer Zeit der sich tendenziell aufwertenden Inlandswährung langfristige Kurssicherungsmaßnahmen getroffen, so kann er auf der Basis der für ihn geltenden Kursrelationen evtl. wesentlich günstiger liefern als seine Konkurrenten und verschafft sich damit einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil. Die Kalkulations-

1) Die Bedeutung der Devisentermingeschäfte und deren buchhalterische Erfassungs- und Kontrollmöglichkeiten sind in Verbindung mit der Herstatt-Pleite vielfach diskutiert worden. Vgl. dazu u.a.: O. Braun, Zur Theorie des Devisenterminmarktes. In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, Bd. 177, 1965, S. 22 ff. und 132 ff.; Bundesverband deutscher Banken, Devisentermingeschäfte volkswirtschaftlich notwendig! In: Der langfristige Kredit 16/1974, 2. Ausgabe, S. 522 f.; St.-Th. Ehrig, Devisentermingeschäfte als Instrument der Währungspolitik, Berlin 1973; G. Graf, Zur formalen Theorie des Devisenterminmarktes, Berlin 1971; IdW (Hrsg.), Entwurf einer Stellungnahme zur Bilanzierung und Prüfung der Devisengeschäfte der Kreditinstitute. In: Die Wirtschaftsprüfung, Heft 1/2/1975, S. 56 ff; o.V., Devisentermingeschäfte schützen den Außenhandel vor Wechselkursrisiken. In: Wertpapier 20/1974, S. 791 f.; W. Scholz, Die Bilanzierung und Prüfung der Devisengeschäfte der Kreditinstitute. In: Die Wirtschaftsprüfung, Heft 1/2/1975, S. 25 ff.; J. Schröder, Zur Theorie der Devisenterminmärkte, Berlin 1969; A. Schütz, Das Devisengeschäft der Banken - Gedanken zur Kontrolle und Organisation des Rechnungswesens, In: Bank-Betrieb 10/1974, S. 397 ff.; R. Wittgen, Devisenspekulation, a.a.O., S. 20 f.

basis ist für den Importeur und Exporteur umso genauer und konstanter, je längerfristiger er durch Kurssicherungsmaßnahmen von Paritätsveränderungen unberührt bleibt.

Das eigentliche Problem der Kurssicherung liegt dabei nicht in der Kurssicherungsmaßnahme selbst, die wegen der unterschiedlichen Konditionen letztlich eine rein kalkulatorische Fragestellung bedeutet, sondern in der Ermittlung der zukünftigen Aktiva und Passiva der verschiedenen Währungen, die betrags- und zeitpunktgenau vorliegen müssen. Werden die Kurssicherungsmaßnahmen erst bei bereits vorliegenden Forderungen und Verbindlichkeiten für die entsprechenden Einnahmen und Ausgaben getroffen, so können die daraus resultierenden Devisenaktiva und -passiva aufgrund der bekannten Ausgangsgrößen und des kurzen Prognosezeitraums relativ genau geschätzt werden. Sollen jedoch möglichst große Zeiträume überbrückt werden und die Sicherungsmaßnahmen evtl. schon infolge eingegangener oder sogar geschätzter Aufträge eingeleitet werden, so ergibt sich ein relativ komplexes Prognoseproblem. Für die Sicherungsmaßnahmen ist es dabei nicht notwendig, von den einzelnen Devisenbeträgen auszugehen. Da bei einem Importeur/Exporteur die Devisenaktiva und Devisenpassiva des gleichen Zeitpunktes gegeneinander aufgerechnet werden können, ist lediglich der kumulierte Saldo pro Zeiteinheit und Währung abzusichern und damit auch zu prognostizieren.

Bevor wir ein Verfahren zur Prognose von Devisensalden betrachten wollen, ist zunächst zu untersuchen, wann die Anwendung eines solchen Prognosemodells unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten überhaupt angezeigt ist.

3. Entscheidungskriterien für die Einführung eines Prognosemodells

Da die Prognose der Devisenaktiva und -passiva für die verschiedenen Währungen und die sich daran anschließenden Kurssicherungsmaßnahmen einem Unternehmen unter Umständen erhebliche Kosten verursachen, ist zunächst zu prüfen, ob dieser Aufwand hinsichtlich der Verlustgefahren überhaupt gerechtfertigt ist. Um dies zu untersuchen, müssen zunächst die Komponenten, durch die ein evtl. Devisenverlust herbeigeführt wird, herausgestellt werden.

31. Komponenten des Verlustes bzw. Gewinns bei Devisengeschäften

Wie oben dargelegt, kann ein Verlust bzw. Gewinn aus einem Devisengeschäft erst dann entstehen, wenn offene Devisenpositionen gehalten werden und sich der Kurs dieser Valuta ändert. Der Verlust bzw. Gewinn kann also unmittelbar aus diesen beiden Komponenten abgeleitet werden, wobei sowohl verschiedenartige Devisenpositionen als auch unterschiedliche Kursveränderungen zu beachten sind, die ihrerseits von der betrachteten Zeitspanne abhängen.

Um über die Einführung eines Prognosemodells befinden zu können, müssen jedoch nicht nur die Verlustrisiken und Gewinnchancen ohne Kurssicherung bekannt sein. Da bei der Anwendung eines Prognosemodells immer gewisse Schätzfehler auftreten werden, können die darauf aufbauenden Kurssicherungsmaßnahmen auch keine exakt ausgeglichenen Devisenpositionen gewährleisten. In aller Regel wird daher ein Restsaldo verbleiben, der mit den entsprechenden Verlustrisiken und Gewinnchancen behaftet ist, die auch bei der

Einführung eines Prognosemodells berücksichtigt werden müssen. Außerdem können - wie die ex post Analyse zeigt - auch bei ausgeglichenen Salden im Vergleich zum ungesicherten Devisengeschäft Verluste auftreten, sofern bei Auflösung der Kurssicherungsmaßnahmen eine entsprechend ungünstige Kurskonstellation eintritt.

Um die Wirkungsweise der beiden Komponenten darzustellen, wollen wir im folgenden die Aktiva und Passiva nicht mehr getrennt betrachten, sondern nur noch von den Salden ausgehen, die folgendermaßen bezeichnet werden:

- $s_{t,t+T}^k$: effektiver Devisensaldo der Währung k über den Zeitraum t bis t + T
- $\hat{s}_{t,t+T}^k$: geschätzter Devisensaldo der Währung k über den Zeitraum t bis t + T. Dieser prognostizierte Saldo entspricht damit auch dem Betrag der getroffenen Kurssicherungsmaßnahmen, weswegen diese nicht mehr gesondert aufgeführt werden müssen¹⁾.
- $d_{t,t+T}^k = s_{t,t+T}^k - \hat{s}_{t,t+T}^k$: trotz der Kurssicherung eingetretener Restsaldo und entspricht damit dem Prognosefehler
- $k = 1, \dots, l$: laufender Index der verschiedenen Währungen
- T : bezeichnet einen zunächst zukünftigen Zeitpunkt, von dem aus dann eine ex post Analyse zur Gewinn- bzw. Verlustermittlung durchgeführt werden kann.

Da es für die Entstehung eines Verlustes bzw. Gewinns entscheidend ist, ob es sich um einen Aktiv- oder Passivsaldo handelt, wollen wir einen Aktivsaldo positiv, einen Passiv-

1) Wie oben bereits dargelegt, sind bei der Kurssicherung mittels Währungskrediten die Zinszahlungen entsprechend zu berücksichtigen.

saldo negativ definieren. Es gilt also:

Aktivsaldo:	Passivsaldo:
$s = + /s/$	$s = - /s/$
$\$ = + /\$/$	$\$ = - /\$/$
$d = + /d/$	$d = - /d/$

Ein evtl. entstehender Restsaldo kann ebenfalls positive und negative Werte annehmen, die sich aus folgenden Konstellationen ableiten:

- $d < 0$: Überschätzung in bezug auf einen Aktivsaldo bzw. Unterschätzung in bezug auf einen Passivsaldo
- $d > 0$: Überschätzung in bezug auf einen Passivsaldo bzw. Unterschätzung in bezug auf einen Aktivsaldo

Dies ergibt sich unmittelbar aus der besprochenen Vorzeichenregel.

Bezüglich der zweiten Komponente für die Bemessung des Verlustes bzw. Gewinns - der Devisenkursänderung - sind folgende Kursstellungen zu erfassen:

- $k_{t,k}$: Kassakurs der Währung k zum Zeitpunkt t
- $k_{t,t+T,k}^d$: determinierter Devisenkurs der Währung k zum Zeitpunkt t; d.h. der Kurs, zu dem das Kurssicherungsgeschäft - Devisentermingeschäft oder Währungskredit - abgeschlossen wurde für den Zeitpunkt $t + T^1)$
- $k_{t+T,k}$: Kassakurs der Währung k zum Zeitpunkt $t + T$

Mit diesen Größen lassen sich nun die absoluten Verluste bzw. Gewinne aus dem Devisengeschäft errechnen. Da wir bei

1) Wir wollen hier vereinfachend annehmen, daß im Kurs die anfallenden Kurssicherungskosten bereits verrechnet sind, so daß zusätzliche Aufwandsposten nicht mehr zu berücksichtigen sind.

den Betrachtungen vom Ziel der Kurssicherung ausgehen und keine Devisenspekulation anstreben, interessieren vor allem die zu vermeidenden Verluste, weswegen die Verluste V positiv definiert werden. Nimmt V einen positiven Wert an, entsteht in dieser Höhe ein Verlust, für negative Werte errechnet sich ein Gewinn.

Wird keine Kurssicherung durchgeführt, errechnet sich der Verlust bzw. Gewinn V_1 :

$$V_{1,k} = s_{t,t}^k + T \cdot (k_{t,k} - k_{t,t} + T, k)$$

Für den Fall der Kurssicherung setzt sich der Verlust bzw. Gewinn aus zwei Komponenten zusammen. Stellt sich am Fälligkeitstermin ein besserer Kurs ein, als er beim Kurssicherungsgeschäft vereinbart wurde, so tritt im Verhältnis zu dem abgesicherten Betrag ein Kursverlust auf. Durch den unterstellten Prognosefehler ist die Betragsdifferenz zwischen realisiertem Wert und Schätzwert ungesichert, so daß dadurch ebenfalls ein Verlustrisiko bzw. eine Gewinnchance begründet wird. Faßt man die beiden Komponenten unter Beachtung der getroffenen Vorzeichenregel zusammen, so ergibt sich folgender Verlust/Gewinn für das abgesicherte Devisengeschäft:

$$V_{2,k} = s_{t,t}^k + T \cdot (k_{t,k} - k_{t,t}^d + T, k) + d_{t,t}^k + T \cdot (k_{t,k} - k_{t,t} + T, k)$$

Dieser Formel ist der gleiche Bezugskurs $k_{t,k}$ wie bei der Berechnung von V_1 zugrunde gelegt, so daß man die Verlust- bzw. Gewinndifferenz zwischen dem ungesicherten und gesicherten Devisengeschäft berechnen kann:

$$V_k = V_{2,k} - V_{1,k} = s_{t,t}^k + T \cdot (k_{t,k} - k_{t,t}^d + T, k)$$

Durch diese Festlegung der Größen ist obige Vorzeichen-

regel beibehalten, so daß sich bei positiven V-Werten ein Verlust errechnet, d.h. das Kurssicherungsgeschäft liefert das schlechtere Ergebnis, während bei negativen V-Werten die entgegengesetzte Situation eintritt. Dadurch ist es nun möglich, die beiden "Verlustquellen" direkt zu vergleichen, was für die Einführung eines Prognosemodells und den damit verbundenen Abschluß von Kurssicherungsgeschäften von Bedeutung ist.

Anhand von Tabelle 1 läßt sich die Reaktion von V_k auf veränderte Salden und Kursrelationen rein qualitativ angeben. Damit sind die Situationen bezeichnet, in denen die Kurssicherung zu besseren Ergebnissen führt:

prognostiz. Saldo	Kursrelation		
	$\mathcal{J} > 0$	$\mathcal{J} = 0$	$\mathcal{J} < 0$
$\Delta > 0$	Verlust	± 0	Gewinn
$\Delta = 0$	± 0	± 0	± 0
$\Delta < 0$	Gewinn	± 0	Verlust

Tab. 1: Reaktion von V_k auf die unterschiedlichen Konstellationen von Devisensaldo und Kursdifferenz

Dabei bedeutet:

$$\mathcal{J} = k_{t+T,k} - k_{t+T,k}^d$$

Eine entsprechende Übersicht läßt sich auch für V_1 angeben. Aufgrund der Variablenzahl von V_2 ist dafür eine zweidimensionale Darstellung jedoch nicht möglich und kann nur über Zusammenfassungen, die dann allerdings die

Übersichtlichkeit sehr beeinträchtigen, erreicht werden, weswegen auf eine Darstellung verzichtet werden soll.

Diese Ermittlungsmethode ist bei exakten Schätzungen - also für $d = 0$ - ebenso anwendbar, wie auch bei Schätzfehlern, die sogar eine Vorzeichenumkehr zur Folge haben. Das tritt dann ein, wenn ein geschätzter Aktivsaldo sich zum Realisationszeitpunkt als Passivsaldo herausstellt und umgekehrt, sich ein geschätzter Passivsaldo als Aktivsaldo entpuppt. Durch das Einsetzen fiktiver Zahlenwerte in obige Gleichungen können die verschiedenen Situationen (Überschätzung-Unterschätzung, Aktivsaldo-Passivsaldo sowie die möglichen Kurskonstellationen) in ihrer Wirkung hinsichtlich V_k , $V_{1,k}$ und $V_{2,k}$ anschaulich dargestellt werden.

Die aufgestellten Gleichungen zeigen die Komponenten des Verlustes bzw. Gewinns bei Devisengeschäften mit und ohne Kurssicherung und erfassen deren Wirkungsweise. Damit lassen sich mittels einer ex post Analyse die absoluten Verluste bzw. Gewinne errechnen, ohne jedoch über das eigentliche Verlustrisiko etwas auszusagen.

32. Die Problematik der Bestimmung des Verlustrisikos

Von einer quantitativen Bestimmung des Verlustrisikos bei Devisengeschäften würde man etwa die Aussage erwarten, daß der Verlust mit einer Wahrscheinlichkeit von z.B. 95% kleiner als 10% ist. Hätte man darüber hinaus die Möglichkeit, die Gewinnchancen gleichermaßen zu beurteilen, so könnte über die Notwendigkeit der Einführung von Kurssicherungsmaßnahmen relativ leicht entschieden werden. Um eine solche Aussage zu ermöglichen, ist es notwendig, von den im Abschnitt 31. verwendeten absoluten Erfolgsgrößen zu relativen Werten überzugehen, da die absoluten

Werte ohne Kenntnis der Bezugsgrößen keine unmittelbare Aussagekraft besitzen. Um eine Vergleichbarkeit der Größen zu gewährleisten, wollen wir allen Werten die gleiche Bezugsgröße zugrunde legen und dafür den in Inlandswährung bewerteten tatsächlichen Saldo verwenden. Damit ergibt sich die einheitliche Bezugsbasis:¹⁾

$$/b/ = /s_{t,t+T}^k \cdot k_{t,k}/$$

Aus den absoluten Verlustgrößen bzw. Gewinngrößen ergeben sich dann die dimensionslosen Verlustfaktoren:

$$v_{1,k} = \frac{s_{t,t+T}^k \cdot (k_{t,k} - k_{t+T,k})}{/b/}$$

$$v_{2,k} = \frac{s_{t,t+T}^k \cdot (k_{t,k} - k_{t,t+T,k}^d) + d_{t,t+T}^k \cdot (k_{t,k} - k_{t,t+T,k})}{/b/}$$

$$v_k = \frac{s_{t,t+T}^k \cdot (k_{t+T,k} - k_{t,t+T,k}^d)}{/b/}$$

Durch die Multiplikation der Faktoren mit 100 kommt man zu den entsprechenden prozentualen Verlusten bzw. Gewinnen. Für den Aussagegehalt und die Wirkungsweise dieser Faktoren gilt das oben Gesagte entsprechend, so daß es hier keiner weiteren Erläuterungen bedarf.

Die Verlustfaktoren ermöglichen eine prozentuale Festlegung der entstandenen Verluste bzw. Gewinne aufgrund einer ex post Analyse, aber können in der dargestellten Weise noch keine Aussagen über das Verlustrisiko liefern. Um diese Aussage treffen zu können, müssen die Verlustfaktoren als Zufallsvariablen²⁾ mit bekannter Wahrschein-

1) Um bei den getroffenen Vorzeichenregelungen keine Widersprüche zu erzeugen und um diese hier direkt übernehmen zu können, wollen wir den Betrag der Größe als Bezugsbasis wählen.

2) Zur Problematik der Zufallsvariablen vgl.: M. Fisz, Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, 5. Aufl., Berlin 1970; E. Kreyszig, Statistische Methoden und ihre Anwendung, 4. Aufl., Göttingen 1974

lichkeitsverteilung¹⁾ vorliegen. Das bedeutet, daß die Elemente der Verlustfaktoren - also z.B. die Veränderung des Kassakurses vom Zeitpunkt t bis zum Zeitpunkt $t + T$ - ebenfalls Zufallsvariablen sein müssen, deren Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu ermitteln sind. Über umfangreiche ex post Analysen sind zunächst für die zu untersuchenden Variablen möglichst viele Werte zu ermitteln. Aus den daraus erstellten Wertetabellen und den sich ergebenden graphischen Darstellungen kann man versuchen, bestimmte Typen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen abzuleiten. Über geeignete Tests für Verteilungsfunktionen können die vorliegenden Werte hinsichtlich eines bestimmten Funktionstyps abgetestet werden, wodurch sich eine Verifizierung bzw. Falsifizierung der Hypothese ergeben wird. Diese Vorgehensweise ist letztlich ein rein statistisches Problem und soll uns daher hier nicht weiter beschäftigen. Die entscheidende Frage ist dabei, ob es sich bei den zu untersuchenden Variablen überhaupt um Zufallsvariablen handelt, oder ob z.B. die Kursveränderungen aufgrund systematischer Einflußgrößen zustande kommen.

Wenn man sich die Kursentwicklung des US-Dollars im Vergleich zur DM nach der Freigabe der Wechselkurse im Frühjahr 1973 vergegenwärtigt, so entwertete sich der Dollar von Ende 1972 bis Mitte 1973 um ca. 20%. Dieser Phase folgte noch ein weiterer Rückgang bis sich der Dollar bis Anfang 1974 wieder etwas erholte. Diese trendartigen Veränderungen, die sich auch nach längerer Freigabe des Dollarkurses z.B. in den Sommermonaten 1975 in einer Befestigung des Dollars wiederholten, lassen die Zufälligkeit der Kursveränderungen - besonders über Zeiträume von 2 bis 3 Monaten oder länger - als recht zweifelhaft erscheinen. Die vielen Kurseinflußfaktoren wie z.B. das Währungssystem generell, das Zinsniveau, die konjunkturelle

1) Vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 71 ff.

Lage, die Inflationsraten und -erwartungen, die Notenbankpolitik, die Geld- und Kapitalmarktsituation und noch vieles mehr bewirken oft eine tendenzielle Beeinflussung des Devisenmarktes und damit trendartige Veränderungen der Paritäten. Wird ein Kurssicherungsgeschäft z.B. mittels Termindevisen durchgeführt, so kann der dabei vereinbarte Devisenterminkurs auch nicht als zufällig angesehen werden, da sich in ihm die erwarteten Entwicklungen des Kassakurses widerspiegeln, und außerdem die Zinsunterschiede zwischen den beiden Ländern zum Tragen kommen. Ein Beispiel, das die Kurssituation für US-Dollars Anfang 1974 betrachtet, soll die Zusammenhänge verdeutlichen¹⁾: Ende Januar 1974 war der Kassakurs für US-\$ 2,8400. Termindollar für 3 Monate, also per Ende April 1974, wurden zum Kurs von 2,8445 angekauft. Andererseits war der Zinssatz am Euro-Geldmarkt für US-\$-Kredite $9 \frac{5}{8}\%$, für DM-Anlagen am Euro-Geldmarkt wurden gleichzeitig $10 \frac{1}{4}\%$ Zinsen bezahlt. Der Zinsgewinn, der durch die Aufnahme eines Dollarkredits und die gleichzeitige Anlage dieses Betrages in DM erzielt werden konnte, betrug also $5 \frac{5}{8}\%$ p.a.. Der Aufschlag bei dem Termindollarkurs in Höhe von 45 Punkten für 3 Monate ergibt umgerechnet auf 1 Jahr und bezogen auf den ursprünglichen Kassakurs von 2.8400 ziemlich genau $5 \frac{5}{8}\%$ p.a.. Man sieht hier den unmittelbaren Zusammenhang zwischen Kassakurs und Termini-kurs und kann daher nicht von Zufallsschwankungen bei der Kursstellung ausgehen.

Eine Lösung dieses Problems wäre theoretisch denkbar, indem die systematischen Veränderungen der Devisenkurse durch eine Trendkomponente "herausgefiltert", und somit die Restschwankungen als zufallsbedingt angesprochen werden. Die Voraussetzung ist dabei, daß für die einzelnen Währungen ein Prognosemodell vorliegt, das "alle" systematischen Be-

1) Beispiel entnommen aus dem Vortrag "Der Devisenhandel" von F. Watzinger am 24.1.74 vor dem Institut für Bankwirtschaft der Universität München

einflussungen beinhaltet, wodurch die danach auftretenden Abweichungen nur noch zufällig sind¹⁾. Bei der Vielzahl der Interdependenzen ist eine theoretisch exakte Lösung dieses Problems in praxi nicht möglich, die Erfassung der wesentlichen Einflußfaktoren durch ein Prognosemodell könnte jedoch zu einer möglichen Näherungslösung führen.

Da sich diese Arbeit jedoch im wesentlichen mit den Möglichkeiten der Kurssicherung befaßt, und für die Durchführung von Kurssicherungsmaßnahmen die Kenntnis zukünftiger Salden allein entscheidend ist, sollen hier die Möglichkeiten zur Prognose der Devisenkurse nicht erörtert werden, obwohl sie natürlich in Verbindung mit Devisengeschäften von außerordentlichem Interesse sind.

Die Problematik der Zufälligkeit trifft in gleichem Maße auf die Devisensalden und die prognostizierten Größen bzw. die Prognosefehler zu. Wird das Prognosemodell relativ umfangreich ausgestaltet unter Einbeziehung von Korrektur- und Überwachungsmöglichkeiten (vgl. Punkt 542.), so kann von einer Zufälligkeit der Abweichungen ausgegangen werden, sofern die Eingangssignale auch den Modellerfordernissen entsprechen.

Eine abschließende Beurteilung dieses Problemkreises kann hier nicht erwartet werden, da erst die eingehende Untersuchung konkreter Daten ein schlüssiges Urteil darüber abzugeben vermag. Die grundlegende Problematik, die in ihrer Vielfältigkeit hier nicht diskutiert werden kann, sollte jedoch nicht unerwähnt bleiben, da die Möglichkeit der Risikomessung bei Devisengeschäften von großer Bedeutung für die Entscheidungsfindung in vielerlei Hinsicht ist. Gelingt es jedoch, den Einflußfaktoren Wahrscheinlichkeitsverteilungen zuzuordnen, so kann über die

1) Zur vielseitigen Problematik der Kursprognose vgl. R. Wittgen, Währungsrisiko, a.a.O., S. 36 ff.

Konstruktion mehrdimensionaler Verteilungen ein Risiko-
maß gefunden werden.

33. Die Prognoserechnung im Rahmen der Gesamtplanung der Unternehmung

Können die Verlustfaktoren mittels Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschrieben werden, so lassen sich Risikomaße entwickeln, die die Verlustgefahr aus Devisengeschäften mit und ohne Kurssicherung quantifizieren. Damit könnte etwa die Aussage getroffen werden: "Mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% entstehen bei Devisengeschäften ohne Kurssicherung Verluste kleiner als 15%, mit Kurssicherung liegen die Verluste mit 90%iger Sicherheit unter 5%." Auf der Basis dieser Kenntnisse wird die Entscheidung über die Einführung eines Prognosemodells, das als Voraussetzung für eine wirksame Kurssicherung anzusehen ist, wesentlich erleichtert, wobei allerdings die Gewinnchancen mit und ohne Kurssicherung ebenfalls zu beachten sind. Da der Erfolg der Kurssicherung entscheidend von der Qualität des Prognosemodells abhängt, die ihrerseits bei der Frage nach der Einführung eines solchen Modells jedoch noch nicht bekannt ist, müssen für die Prognosefehler Erwartungswerte gebildet werden.

Liegt eine derartige Quantifizierung des Risikos nicht vor, können hilfsweise die in der Vergangenheit eingetretenen Durchschnittsverluste aus Devisengeschäften als Entscheidungskriterium herangezogen werden. Da dabei die Qualität des Prognosemodells ebenfalls unbekannt ist, müssen für die Verluste, die trotz der Kurssicherung eintreten können, wiederum Schätzgrößen angenommen werden. Sind die Kosten für die Einführung des Modells und die Durchführung der Prognosen zuzüglich der erwarteten Verluste trotz Kurssicherung kleiner als die Verluste ohne den Abschluß von Kurssicherungsgeschäften, so führt das Prognosemodell insgesamt zu einem besseren Ergebnis.

Die Bildung von Durchschnittswerten kann jedoch nur dann zu einem guten Resultat führen, wenn sich die Situation am Devisenmarkt nicht wesentlich ändert, und auch die ausländischen Geschäftsbeziehungen keinen großen Änderungen unterworfen sind. Geht z.B. ein Land von festen Paritäten auf flexible Wechselkurse über, oder nimmt der Exportanteil eines Unternehmens sehr stark zu, wohingegen der Importanteil ständig schrumpft, so können die Vergangenheitswerte nicht mehr als Entscheidungskriterium herangezogen werden. Infolge der veränderten Situation werden sich auch die Gewinnchancen bzw. die Verlustrisiken grundsätzlich verschieben.

Neben den Kostenüberlegungen sind für die Einführung eines Prognosemodells vor allem auch organisatorische Fragen von Bedeutung. Außer den organisatorischen Problemen, die die Konzeption und Einführung eines Modells aufwerfen, führt auch die spätere Anwendung des Prognoseverfahrens zu organisatorischen Veränderungen, die bei der Frage nach der Einführung eines Modells zu berücksichtigen und in den Planungen mit zu erfassen sind. Die Entscheidung über die Einführung eines Prognosemodells kann somit allgemein als eine Investitionsentscheidung betrachtet werden und tangiert damit auch alle diesbezüglichen Problemkreise. Insofern muß die Einführung des Prognosemodells im Rahmen des Gesamtkomplexes der betrieblichen Planung gesehen werden und verlangt daher nach den entsprechenden Entscheidungskriterien.

Allein der notwendige zeitliche Bezug jeglicher Planungstätigkeit schließt die Prognose im weitesten Sinne ein. Die vielseitigen Definitionen des Begriffs Planung in der betriebswirtschaftlichen Literatur unterstreichen

dies in unterschiedlichen Ausprägungen¹⁾. So versteht Koch unter Planung²⁾:

- a) "Ein System von Entscheidungen..., durch welche bestimmte Handlungen im voraus festgelegt werden.
- b) Die Ausarbeitung von Wahlmöglichkeiten und Lösungsvorschlägen, zwischen denen eine Entscheidung zu treffen ist.
- c) Die Bildung von Zukunftsvorstellungen..., welche den Ablauf der Unternehmung im ganzen oder einzelne Unternehmensmerkmale betreffen."

Besonders unter Punkt c) ist die Prognose als Teilbereich der betrieblichen Planung besonders herausgestellt, was bedeutet, daß die Prognoserechnung in den Gesamtplanungsbereich entsprechend zu integrieren ist. "Konkret bedeutet Unternehmensplanung also, schon heute die zweckmäßigsten zukünftigen Handlungsabläufe im Hinblick auf projizierte Ziele oder/und in Reaktion auf zukünftige Ereignisse festzulegen und zu bewerten. Die Prognose der für das Unternehmen gegebenen externen zukünftigen Daten, die quantitative Erfassung ihrer Auswirkungen direkt und indirekt auf das Unternehmen selbst, der Entwurf der zweckmäßigen eigenen Verhaltensweisen in dieser vorausgeschauten Zukunft um-

1) Vgl. u.a.: E. Gutenberg, Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1, "Die Produktion", 11. Aufl., Berlin / Heidelberg/New York 1965, S. 147; W. Kern, Der Betrieb als Faktorkombination. In: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre in programmierter Form, Hrg. H. Jacob, Wiesbaden 1969, S. 142; K. Mellerowicz, Planung und Plankostenrechnung, Bd. 1, Freiburg 1961, S. 22; M.Sauer, Planung, langfristige. In: Management Enzyklopädie, Bd. 4, 1971, S. 1134; D. Hertz, Risk Analysis in Capital Investment. In: HBR 1964, Heft 1, S. 100; A. Weiss, Marktforschung für Investitionsgüter. In: Management Enzyklopädie, Bd. 4, 1971, S. 469 ff.

2) H. Koch, Betriebliche Planung, Wiesbaden 1961, S. 9; vgl.: ders., Planung. In: HdB, 3. Aufl., Bd. 3, Stuttgart 1960, Sp. 4340 ff.; vgl. U. Hielscher, Das optimale Aktienportefeuille, Darmstadt 1969, S. 52 f.

reißen die Kernfragen einer kurz- und langfristigen Unternehmensplanung" ¹⁾).

Die Bedeutung der Prognoserechnung im Rahmen der betrieblichen Planungsaktivitäten wird durch eine Umfrage des Seminars für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel im Frühjahr 1973 ²⁾ besonders unterstrichen, in der 80 beantwortete Fragebogen von Industriebetrieben unterschiedlicher Rechtsformen hinsichtlich ihrer Planungsarbeiten ausgewertet wurden. Im Vergleich zu einer im Jahre 1965 vom Ifo-Institut durchgeführten Umfrage zeigt sich eine starke Zunahme der Planungstätigkeiten insgesamt, wobei außerdem eine Verfeinerung der Planungstechniken zu beobachten ist. Hinsichtlich der Prognoseverfahren ist bemerkenswert, "... daß die nicht notwendig mathematische Methoden benutzenden Vorgehensweisen (historische Analogien, visionäre Prognosen, Delphi-Methode, auch die "Marktforschung"), zusammengenommen wesentlich häufiger zur Anwendung kommen als z.B. die Regressionsrechnung. Als Erklärung bietet sich an, daß die keineswegs unbestrittene Überlegenheit der formal gesicherten Verfahren i.d.R. durch den Einsatz von mehr Zeit, sei dies für Datenerhebung, Programm-erstellung oder Auswertung, erkauft werden muß" ³⁾. Allerdings planen fast 20% der befragten Unternehmen die Einführung weiterer Prognoseverfahren, was sicher eine stärkere

1) N. Heckmann u.F. Schemmel, Die Anwendung der Regressionsrechnung zur Entwicklung quantitativer Prognosemodelle - ihre Möglichkeiten als Hilfsmittel der Unternehmensplanung. In: ZfbF 1971, S. 42.

Zur Zielbezogenheit der Planung vgl.:

K. Agthe, Das Problem der unsicheren Erwartungen bei unternehmerischen Planungen und Entscheidungen. In: Unternehmensplanung, Hrsg.: K. Agthe u. E. Schnauffer, Baden-Baden, 1963, S. 83; J. Schweim, Integrierte Unternehmensplanung, Bielefeld 1969, S. 17

2) Vgl.: K. Brockhoff, Planung und Prognose in deutschen Großunternehmen - Ergebnisse einer Umfrage. In: DB, Heft 18, 1974, S. 838 ff.

3) K. Brockhoff, a.a.O., S. 840 f.

Berücksichtigung der mathematischen Verfahren mit sich bringen wird. Die Tendenz zum weiteren Ausbau der Planungstechnik und der Prognoseverfahren wird dadurch begünstigt, daß alle befragten Unternehmen über EDV-Anlagen verfügen oder diese benutzen, während dies im Jahre 1965 erst zu 58% der Fall war¹⁾. Allein der zunehmende Planungsumfang und die Notwendigkeit, mehr und mehr Informationen zu verarbeiten, machen es erforderlich, computerunterstützte Prognosemodelle einzuführen, die, auch wenn sie keine besseren Prognosen als bei Vorhersagen menschlicher Sachbearbeiter bringen sollten, doch einen Rationalisierungseffekt durch die bessere Bewältigung großer Datenvolumina gewährleisten. "Nehmen wir an, es sei der Zukunftsbedarf von 500 Produkten zu ermitteln, die in einem industriellen Lager geführt werden. Einem Menschen mag es gelingen, für einen oder zwei dieser Artikel, die man beliebig herausgreift, eine bessere Vorhersage zu machen als ein elektronisches Programm, weil er eine besonders intensive Datenanalyse anstellt und gewisse Hintergrundinformationen mit einbringen kann. Es ist jedoch undenkbar, daß der Sachbearbeiter gleiche Sorgfalt auf alle 500 Produkte verwendet"²⁾. Wenn dieser Aussage auch prinzipiell zuzustimmen ist, so darf nicht übersehen werden, daß die Kosten, ein umfassendes Prognosemodell zu entwickeln und durchzuführen, mit dem Aufwand für gleichwertige Informationen durch Sachbearbeiter zu vergleichen sind.

Dies bringt uns zum Anfang der Überlegungen zurück, wonach der Entscheidung über die Einführung oder die Nichteinführung eines Prognoseverfahrens quasi eine Investitionsplanung oder allgemeiner eine Kosten-Nutzen-Analyse vorausgehen muß. Dabei ist gleichzeitig darüber zu befinden,

1) vgl. ders., a.a.O., S. 838

2) P. Mertens, Prognoserechnung - Einführung und Überblick. In: Prognoserechnung, Hrsg.: P. Mertens, Würzburg/Wien 1973, S. 15

ob ein kompliziertes oder relativ einfaches Prognosemodell angewendet werden soll, wobei auch das Anwendungsgebiet eine entscheidende Rolle spielen wird. Im folgenden soll für die vorliegende Problemstellung ein mögliches Prognoseverfahren vorgestellt werden, wobei aus genannten Gründen die Kursprognose ausgenommen wird.

34. Zusammenfassung

Die Entscheidung über die Einführung eines Prognosemodells zur Devisenkurssicherung hat zunächst von den mit dem Devisengeschäft verbundenen Verlustrisiken auszugehen. Für eine Beurteilung der Verlustrisiken ist es notwendig, die Komponenten herauszustellen, aus denen die Devisenverluste resultieren. Das Bestehen offener Devisenpositionen und die gleichzeitigen Veränderungen der Paritäten dieser Valuten determinieren die Verluste bzw. Gewinne, die als absolute oder relative Größen die Devisengeschäfte mit und ohne Prognosemodell zur Devisenkurssicherung charakterisieren.

Die Problematik, aus diesen Verlustgrößen ein Risikomaß zu entwickeln, das mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Verluste aus Devisengeschäften mit und ohne Prognosemodell abzugrenzen vermag, liegt vor allem in der Konzeption der Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die die Schwierigkeiten der Zufälligkeit der Variablen in sich bergen.

Neben den Verlustgefahren sind die Kosten und die organisatorischen Probleme zu berücksichtigen, die mit einem Prognosemodell verbunden sind. Allgemein kann daher die Entscheidung über die Einführung eines Prognosemodells als eine Investitionsentscheidung betrachtet werden, über die im Rahmen der Gesamtplanung des Unternehmens zu befinden ist.

4. Konzeption des Prognosemodells

4.1. Formulierung der Aufgabenstellung

Wie oben dargestellt, ergibt sich ein Verlust bei Devisengeschäften, wenn offene Devisenpositionen vorhanden sind, und sich die Devisenkurse entsprechend verändern. Dabei stellt sich die Prognose der Devisenkursschwankungen als äußerst schwierig heraus, was neben den mannigfaltigen wirtschaftlichen Einflußfaktoren¹⁾ die häufig noch schwerer abzuschätzenden politischen Sachverhalte²⁾ begründen. Dazu kommt, daß aufgrund von Devisenkursprognosen - und seien sie auch absolut genau - lediglich eventuelle Gewinnchancen oder Verlustrisiken je nach aktivem oder passivem Devisensaldo vorausgeschätzt werden können. Zur eigentlichen Verlustvermeidung wäre es dennoch erforderlich, eine ausgeglichene Devisenposition zu schaffen. Da eine sichere Voraussagung der Devisenkurse völlig unrealistisch ist - sonst wären 1974 keine solch enormen Beträge bei Banken durch Devisenspekulationen verlorengegangen - und dieses Modell lediglich der Vermeidung von Verlusten und nicht der Spekulation dienen soll, genügt es, die eine Komponente eines eventuellen Verlustes - die Devisensalden - zu prognostizieren, um durch entsprechende Kurssicherungsgeschäfte zu ausgeglichenen Deviseneinzelpositionen zu gelangen. Bevor zur Prognose des abzusichernden Saldos übergegangen werden kann, müssen zunächst dessen Bestimmungsfaktoren aufgezeigt werden.

1) Vgl. u.a.: M. Neldner, Die Kursbildung auf dem Devisenterminmarkt und die Devisenterminpolitik der Zentralbanken, Berlin 1970; W. Schwilling, Die kursbildenden Faktoren am Devisenmarkt, Diss., Köln 1963; E. Schneider, Zahlungsbilanz und Wechselkurs, Tübingen 1968; P. Janocha, Intervention und Kooperation der Zentralbanken auf den Devisenmärkten nach dem zweiten Weltkrieg. In: Kieler Studien Nr. 74, Hrg.: E. Schneider, Tübingen 1966

2) Vgl. R. Wittgen, Währungsrisiko, a.a.O., S. 38

"Die Prognose künftiger Währungsaktiva und -passiva begegnet in manchen Fällen keinen Schwierigkeiten, sofern die nötigen organisatorischen Vorkehrungen getroffen wurden, um die zugrundeliegenden geschäftlichen Vorgänge zu erfassen. So lassen sich Zinseinnahmen aus ausländischen festverzinslichen Wertpapieren nach Währung, Höhe und Fälligkeitstermin für lange Zeiträume mit großer Sicherheit und Genauigkeit im voraus erkennen. Das gleiche gilt u.a. für Zinseinnahmen aus gewährten Devisenkrediten, Mieteinnahmen aus im Ausland belegenem Grundbesitz, Zinsausgaben für aufgenommene Währungskredite oder begebene Schuldverschreibungen"¹⁾. Diese Devisenpositionen wollen wir als sonstige Finanztransaktionen eines Unternehmens bezeichnen. Des weiteren ergibt sich der Devisensaldo aus der laufenden Geschäftstätigkeit mit ausländischen Kunden und Lieferanten - also dem Export- und Importgeschäft.

Beide Komponenten tragen gleichermaßen zu einem eventuellen Devisensaldo bei, sollen aber in dem Prognosemodell dennoch unterschiedlich berücksichtigt werden, da die Deviseneinnahmen aus Exportlieferungen und die Devisenausgaben für Importe bei weitem nicht mit dieser Genauigkeit vorhergesehen werden können und somit das eigentliche Prognoseproblem darstellen. Setzt man also die sonstigen Finanztransaktionen unter Berücksichtigung der Zinsen und eventueller Tilgungsraten (Fälligkeit) als bekannt voraus, so können die entsprechenden Größen als Datum bei der Bestimmung des jeweiligen Saldos erfaßt werden. Das Prognoseproblem bleibt somit auf die Schätzung der Exporteinnahmen und Importausgaben beschränkt. Diese Unterschied-

1) Entnommen aus dem Beitrag des Verfassers: "Die Prognose der Deviseneinnahme aus Exporten und der Devisenausgaben für Importe". In: R. Wittgen, Währungsrisiko, a.a.O., S. 40

lichkeit wird bei der Bestimmungsgleichung des Saldos durch eine entsprechende Symbolik hervorgehoben. Für jeden Tag des Prognosezeitraums und für jede zu erfassende Währung, die sich aus der Geschäftstätigkeit ergibt, ist der jeweilige Saldo zu prognostizieren und unter Verwendung der jeweils neuesten Daten im Zeitablauf zu korrigieren. Ohne zunächst auf die Problematik des Prognoseverfahrens zur Schätzung der Deviseneinnahmen aus Exporten und Devisenausgaben für Importe selbst einzugehen, soll die Bestimmungsgleichung der Salden für jeden Prognosezeitpunkt und für jede Währung aufgezeigt werden. Bei den verwendeten Größen handelt es sich ausschließlich um Wertgrößen, d.h. die Importe und Exporte werden z.B. nicht in Stück erfaßt, sondern durch den Wert in der jeweiligen Auslandswährung.

Folgende Größen sind dabei zu erfassen:

$\hat{E}_{t,k}^i$ geschätzte Deviseneinnahmen aus Exporten

Dabei bedeutet:

$i = 1, \dots, n$ laufender Index der verschiedenen Exporteinnahmen

$k = 1, \dots, l$ Index der zu erfassenden Währungen

$t = t_0, \dots, t_0 + T - 1$ Zeitindex für die Prognoseperioden (Tage)

t_0 Basisperiode d.h. die erste Periode, für die prognostiziert wird

T Prognosezeitraum

$\hat{I}_{t,k}^j$ Symbolik für Schätzwerte

$\hat{I}_{t,k}^j$ geschätzte Devisenausgaben für die Importe j in der Währung k für den Prognosezeitpunkt t

$j = 1, \dots, m$ laufender Index der verschiedenen Importausgaben

$DA_{t,k}^r$ sonstige Devisenaktiva r in der Währung k zum Zeitpunkt t

$r = 1, \dots, p$	laufender Index der verschiedenen Devisen- aktiva
$DP_{t,k}^s$	sonstige Devisenpassiva s in der Währung k zum Zeitpunkt t
$s = 1, \dots, q$	laufender Index der verschiedenen Devisen- passiva
$\hat{s}_t^k$	geschätzter Saldo der Währung k zum Zeit- punkt t

Unter Verwendung dieser Größen läßt sich nun der Saldo folgendermaßen beschreiben:

$$\hat{s}_t^k = \sum_{i=1}^n \hat{e}_{t,k}^i - \sum_{j=1}^m \hat{i}_{t,k}^j + \sum_{r=1}^p DA_{t,k}^r - \sum_{s=1}^q DP_{t,k}^s$$

Da wir bei dem vorzustellenden Modell von einer globalen Kurssicherung¹⁾ ausgehen wollen, können die einzelnen Aktiv- und Passivwerte pro Periode und Währung zusammengefaßt werden und bedürfen keiner getrennten Betrachtung. Für obige Gleichung lassen sich daher folgende Vereinfachungen einführen:

$$\begin{aligned} \hat{e}_{t,k} &= \sum_{i=1}^n \hat{e}_{t,k}^i \\ \hat{a}_{t,k} &= \sum_{j=1}^m \hat{i}_{t,k}^j \\ da_{t,k} &= \sum_{r=1}^p DA_{t,k}^r \\ dp_{t,k} &= \sum_{s=1}^q DP_{t,k}^s \end{aligned}$$

Über den gesamten Prognosezeitraum T und unter Berücksichtigung aller zu erfassenden Währungen l ergeben sich für die Größen $\hat{e}_{t,k}$, $\hat{a}_{t,k}$, $da_{t,k}$ und $dp_{t,k}$ jeweils $T \cdot l$ verschiedene Werte. Ebenso ergeben sich $T \cdot l$ Bestimmungsgleichungen für die Salden in den einzelnen Währungen

1) Zur Unterscheidung in globale und individuelle Kurssicherung und deren Anwendungsmöglichkeiten und -problematik vgl.: R. Wittgen, Währungsrisiko, a.a.O., S. 31 f. und 54 f.

$k = 1, \dots, l$ und zu den Prognoseperioden $t = t_0, \dots, t_0 + T - 1$.
In Matrixenschreibweise lassen sich diese Zusammenhänge folgendermaßen darstellen:¹⁾

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} \hat{a}_{t_0,1} & \hat{a}_{t_0,2} & \dots & \hat{a}_{t_0,l} \\ \hat{a}_{t_0+1,1} & & & \\ \vdots & & & \vdots \\ \hat{a}_{t_0+T-1,1} & & \dots & \hat{a}_{t_0+T-1,l} \end{bmatrix} = \\
 & + \begin{bmatrix} \hat{a}_{t_0,1} & \hat{a}_{t_0,2} & \dots & \hat{a}_{t_0,l} \\ \vdots & & & \vdots \\ \hat{a}_{t_0+T-1,1} & & \dots & \hat{a}_{t_0+T-1,l} \end{bmatrix} \\
 & - \begin{bmatrix} \hat{a}_{t_0,1} & \hat{a}_{t_0,2} & \dots & \hat{a}_{t_0,l} \\ \vdots & & & \vdots \\ \hat{a}_{t_0+T-1,1} & & \dots & \hat{a}_{t_0+T-1,l} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

1) Zur Matrizenrechnung sei auf folgende Literatúrauswahl verwiesen:

A. Aitken, Determinanten und Matrizen, Mannheim 1969;
G. Dietrich und H. Stahl, Grundzüge der Matrizenrechnung, Stuttgart 1964; F. Gantmacher, Matrizenrechnung. Teil I, Allgemeine Theorie, 2. ber. Aufl., Berlin 1965; W. Gröbner, Matrizenrechnung, Mannheim 1966; A. Klingst, Einführung in die Matrizenrechnung. In: Anwendung der Matrizenrechnung auf wirtschaftliche und statistische Probleme, Hrsg.: A. Adam, u.a., Würzburg 1963, S. 9 ff. (vgl. auch Beiträge anderer Autoren dieses Buches); W. Wetzel, u.a., Mathematische Propädeutik für Wirtschaftswissenschaftler, Bd. 1, lineare Algebra, Berlin 1968; R. Zurmühl, Matrizen und ihre technischen Anwendungen, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1964

$$\begin{aligned}
 & + \begin{bmatrix} da_{t_0,1} & da_{t_0,2} & \dots & da_{t_0,l} \\ \vdots & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ da_{t_0+T-1,1} & & \dots & da_{t_0+T-1,l} \end{bmatrix} \\
 & - \begin{bmatrix} dp_{t_0,1} & dp_{t_0,2} & \dots & dp_{t_0,l} \\ \vdots & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ dp_{t_0+T-1,1} & & \dots & dp_{t_0+T-1,l} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Dabei lassen sich die Aktiv- und Passivposten jeweils zusammenfassen, so daß gilt¹⁾:

$$\hat{s}_t^k = (\hat{e}_{t,k} + da_{t,k}) - (\hat{a}_{t,k} + dp_{t,k})$$

Wie oben (vgl.S.18) ist der Saldo so definiert, daß sich für einen Aktivsaldo positive, für einen Passivsaldo negative Werte ergeben.

Bei vorliegenden Schätzwerten für die Deviseneinnahmen aus Exporten und Devisenausgaben für Importe sowie der entsprechenden Daten für die sonstigen Devisenaktiva und -passiva lassen sich nun für die Prognoseperioden und die verschiedenen Währungen die Salden ermitteln.

Wie bereits besprochen wurde, ist eine langfristige Devisenkurssicherung für die unternehmerischen Dispositionen von Vorteil, da somit für das Unternehmen eine möglichst lange Zeit "stabiler" Devisenkurse geschaffen wird. Für die Kalkulation der Export- und Importgüter bringt das wesentliche

1) Die Umstellung ist erlaubt, da für die Addition und Subtraktion von Matrizen das kommutative und assoziative Gesetz gilt. Vgl. obige Literaturangaben zur Matrizenrechnung

Erleichterungen und Sicherheiten mit sich und kann im Falle einer sonst negativen Entwicklung der Devisenkurse für das Unternehmen entscheidende Wettbewerbsvorteile bedeuten.

"Würden die Kurssicherungsmaßnahmen jeweils erst ergriffen, wenn unter Risikoaspekten relevante Änderungen der Währungsaktiva und -passiva bereits eingetreten sind, so wäre die Kurssicherung wenig effizient. Es könnte dann z.B. geschehen, daß nach Entstehen einer Devisenforderung eine kompensierende Devisenverbindlichkeit eigens zur Kurssicherung begründet wird, kurz darauf aber im Zuge der regulären Geschäftsvorgänge eine Verbindlichkeit entsteht, die den gewünschten Kompensationseffekt ohnehin entfaltet, so daß der angestrebte Ausgleich der Position gerade durch die Kurssicherungsmaßnahme verhindert worden ist.

Eine effiziente Kurssicherung erfordert daher, daß das Entstehen, das Erlöschen sowie die - betragsmäßigen und terminlichen - Veränderungen von Aktiva und Passiva möglichst früh erfaßt werden können. Nur dann ist es möglich, diese Vorgänge bei der Planung der Kurssicherung zu berücksichtigen und in diese Planung auch solche Aktiva und Passiva einzubeziehen, die im Planungszeitpunkt noch nicht existieren, deren Entstehen aber zu erwarten ist."¹⁾

Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, daß bei einem länger gewählten Prognosezeitraum auch die Prognosefehler zunehmen. Um trotzdem die Fehlerquellen möglichst klein zu halten, soll die Prognose in mehreren Zeitabschnitten erfolgen, bei denen jeweils eine Überprüfung und eine eventuelle Korrektur erfolgen kann. Dadurch wird erreicht, daß die Prognose jeweils aufgrund neuester

1) Beitrag des Verfassers. In: R. Wittgen, Währungsrisiko, a.a.O., S. 39 f.

Informationen durchgeführt wird und eine ständige Planrevision stattfindet.

Die Ausgangsgrößen und die Systematik, die einem derartigen Prognoseverfahren zugrunde liegen, sollen im folgenden Abschnitt vorgestellt werden, bevor die eigentliche Prognosemethode in Abschnitt 43. behandelt wird.

42. Ausgangsgrößen der Prognose¹⁾

Den Ausgangspunkt für die Prognose der Deviseneinnahmen aus Exporten bildet die Vorgehensweise bei der Exportauftragsabwicklung. Sie vollzieht sich in mehreren aufeinanderfolgenden Phasen²⁾: Zunächst gehen Anfragen von Exportkunden ein, ein Teil dieser Anfragen führt zu Exportaufträgen, nach deren Ausführungen entstehen Devisenforderungen, die schließlich zu Deviseneinnahmen werden.

Dieser Ablauf bietet die Möglichkeit, zunächst aufgrund der Kundenanfragen die Aufträge zu schätzen, aus diesen die Forderungen und aus ihnen die Einnahmen zu prognostizieren. Dabei liegt die Annahme zugrunde, daß diese Phasen in einem Zusammenhang zueinander stehen, der z.B. durch statistisch ermittelte Werte beschrieben werden kann, daß also zwischen den Phasen gewisse Gesetzmäßigkeiten zeitlicher und wertmäßiger Art bestehen. Solche Gesetzmäßigkeiten sind zwischen den Phasen Exportaufträge, Devisenforderungen und Deviseneinnahmen wohl immer anzutreffen. Zwischen den Phasen Exportanfragen und Exportaufträge können sie aber auch fehlen; in diesen Fällen lassen sich die Aufträge oft mittels statistischer Pro-

1) Dieser Abschnitt ist dem Beitrag des Verfassers. In: R. Wittgen, Währungsrisiko, a.a.O., S. 40 ff. weitgehend wörtlich entnommen.

2) Vgl.: H. Langen, Betriebliche Zahlungsströme und ihre Planung in dynamischer Sicht. In: ZfB 1965, S. 261 ff., im folgenden zitiert als "Betr. Zahlungsströme."

gnosemodelle (z.B. Trendrechnung, exponential smoothing) aus Vergangenheitswerten prognostizieren. Sieht man hiervon ab, so liegt allen Phasen das gleiche Prinzip der Prognose zugrunde, und es ergeben sich drei Zeitpunkte für die Überprüfung und Korrektur der prognostizierten Werte. Da die Aufträge als erstes realisiert werden, kann ein Prognosefehler, der sich bei der Auftragserschätzung ergeben hat, hier festgestellt werden. Die nächste Korrektur kann zum Zeitpunkt der Forderungsentstehung erfolgen, und schließlich kann dann eine Abweichung der tatsächlichen von den geschätzten Einnahmen dazu benutzt werden, um das Prognoseverfahren zu überprüfen und zu korrigieren, was dann allerdings erst den folgenden Prognoseperioden zugute kommt. Diese Vorgehensweise wird in Abb. 1 dargestellt, wobei neben dem Prognosebeginn (dem 15.1.) beispielhaft drei Zeitpunkte für den Vergleich der Werte und die Korrektur der Prognosen ausgewählt wurden, und zwar der 15.2., der 15.4. und der 15.7.. An jedem dieser vier Zeitpunkte baut die Prognose der Deviseneinnahmen auf einem veränderten Informationsstand auf, was durch die vier übereinander angeordneten Zeitachsen ausgedrückt wird. (Siehe Abb. 1, S. 41)

Am 15.1. (I) werden aufgrund der bis dahin vorliegenden Exportanfragen alle daraus resultierenden Exportaufträge für den Auftragsprognosezeitraum geschätzt. Davon ausgehend werden die Devisenforderungen und schließlich die Deviseneinnahmen prognostiziert. Von den geschätzten Exportaufträgen sowie den geschätzten Devisenforderungen und -einnahmen wird derjenige Teil herausgegriffen, der zu den angenommenen Daten existent ist, also am 15.2., 15.4. und 15.7.. Exportanfragen, die bis einschließlich 15.2. eingehen, können dabei die Werte für die drei Prognosezeitpunkte noch erhöhen (z.B. kann eine Anfrage vom 15.2. am gleichen Tag noch zu einem Auftrag werden). Bei Geschäftsschluß am 15.2. liegen dann sämtliche geschätzten

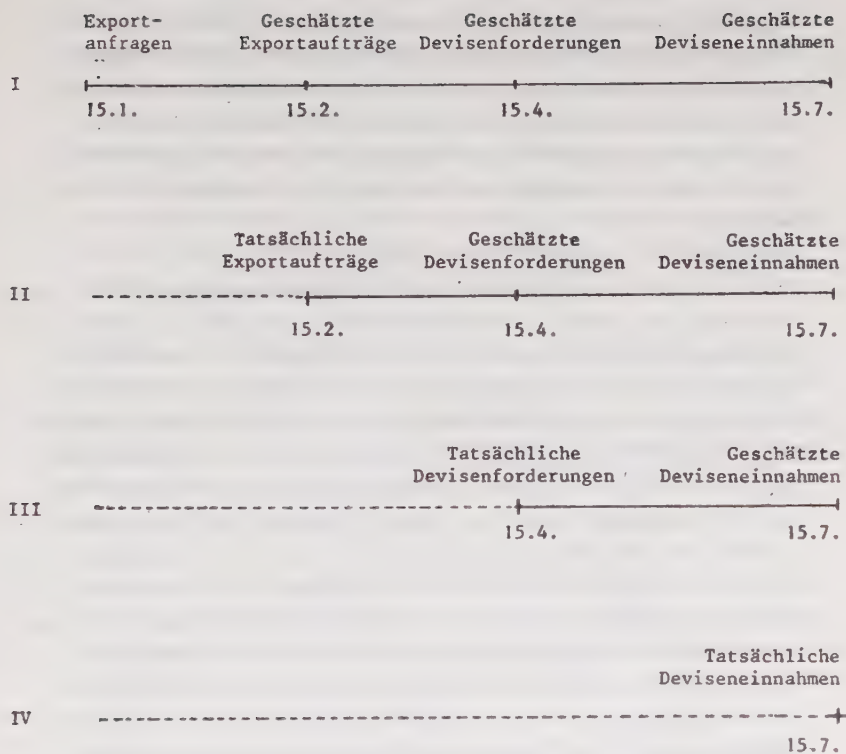


Abb. 1: Ablauf der Prognose von Deviseneinnahmen aus Exportanfragen

und tatsächlichen Exportaufträge für den 15.2. vor (II). Eine eventuelle Planabweichung wird hier festgestellt und kann entsprechend berücksichtigt werden. (Die weitere Prognose baut nun auf Zeitachse II auf.) Am 15.4. (III) liegen die kumulierten geschätzten und die tatsächlichen Forderungsbeträge vor, und am 15.7. (IV) ist schließlich ein Plan-Ist-Vergleich der Einnahmen möglich. Ist ein solches Prognosemodell im Einsatz, so finden diese Plan-Ist-Vergleiche täglich und auf allen Zeitachsen II - IV statt.

In ähnlicher Weise lassen sich die Importausgaben schätzen. Wenn man von einem Fertigungsbetrieb ausgeht, so können die Importe nicht losgelöst von den Exporten betrachtet werden, da für die Herstellung der zu exportierenden Erzeugnisse auch Waren aus dem Ausland bezogen werden müssen. Die Importe hängen insoweit also direkt von den Exporten ab. Auch bei der Schätzung der Importausgaben können daher die Exportanfragen als eine Ausgangsgröße verwendet werden. Da zur Herstellung der im Inland abzusetzenden Ware aber ebenfalls Importgüter eingesetzt werden, müssen neben den Exportanfragen auch die Inlandsanfragen als Ausgangsgrößen herangezogen werden. Die Importbestellungen hängen also sowohl von den Export- als auch von den Inlandsanfragen ab. Dabei kann von diesen beiden Größen unmittelbar auf die Importbestellungen geschlossen werden. Wenn jedoch wegen der Lagerhaltung in Verbindung mit einem entsprechenden Bestellsystem und unter Berücksichtigung der fertigungstechnischen Gegebenheiten die Importbestellungen erst nach oder frühestens mit der Auftragserteilung vorgenommen werden müssen, ist es sinnvoll, aus den Export- und Inlandsanfragen zunächst die Export- und Inlandsaufträge zu schätzen. Die Export- und Inlandsaufträge zusammen bilden dann die Ausgangsgröße für die Bestimmung der Importbestellungen. Durch diesen "Umweg"

über die geschätzten Export- und Inlandsaufträge entsteht auch eine weitere Korrekturmöglichkeit. Ausgehend von den geschätzten Importbestellungen sind dann die Devisenverbindlichkeiten und die Devisenausgaben zu prognostizieren. Die Schätzung der Devisenausgaben aus den Devisenverbindlichkeiten stellt dabei eine vom Importeur sehr gut beeinflussbare Größe dar, da er innerhalb bestimmter Grenzen den Zahlungszeitpunkt doch selbst bestimmen kann. Allerdings werden hier auch gewisse Gesetzmäßigkeiten und unvorhersehbare Faktoren existieren, so daß eine Einbeziehung dieser Phase in das Prognoseverfahren doch gerechtfertigt und vertretbar erscheint.

In Abb. 2 ist diese Vorgehensweise - analog zu Abb. 1 - schematisch dargestellt. Für die Interpretation von Abb. 2 gilt das für Abb. 1 Gesagte entsprechend. Die beiden Komponenten zur Schätzung der Importbestellungen sind durch die Achsen Ia und Ib bzw. IIa und IIb wiedergegeben. (Siehe Abb. 2, S. 44)

Eine weitere Besonderheit ergibt sich bei der Schätzung der Importbestellungen, weil zwischen Aufträgen und Bestellungen in aller Regel kein Prognosebedürfnis auftritt; denn dem Unternehmer wird aufgrund seines Bestellsystems bekannt sein, wann er welche Ware nach eingegangenem Auftrag bestellen muß. Wenn also bei der Zeitachse II am 15.3. noch von geschätzten Bestellungen gesprochen wird, obwohl die Aufträge vom 15.2. bekannt sind, so wird angenommen, daß eingehende Aufträge in der Zeit vom 15.2. bis 15.3. noch zu Importbestellungen per 15.3. führen. Allein bei den daraus resultierenden Bestellungen handelt es sich noch um echte Schätzgrößen, die anderen Bestellungen für den 15.3. sind bereits bekannt, so daß sich das eigentliche Prognoseproblem bezüglich der Importbestellungen aus der Schätzung von Export- und Inlandsaufträgen ergibt.

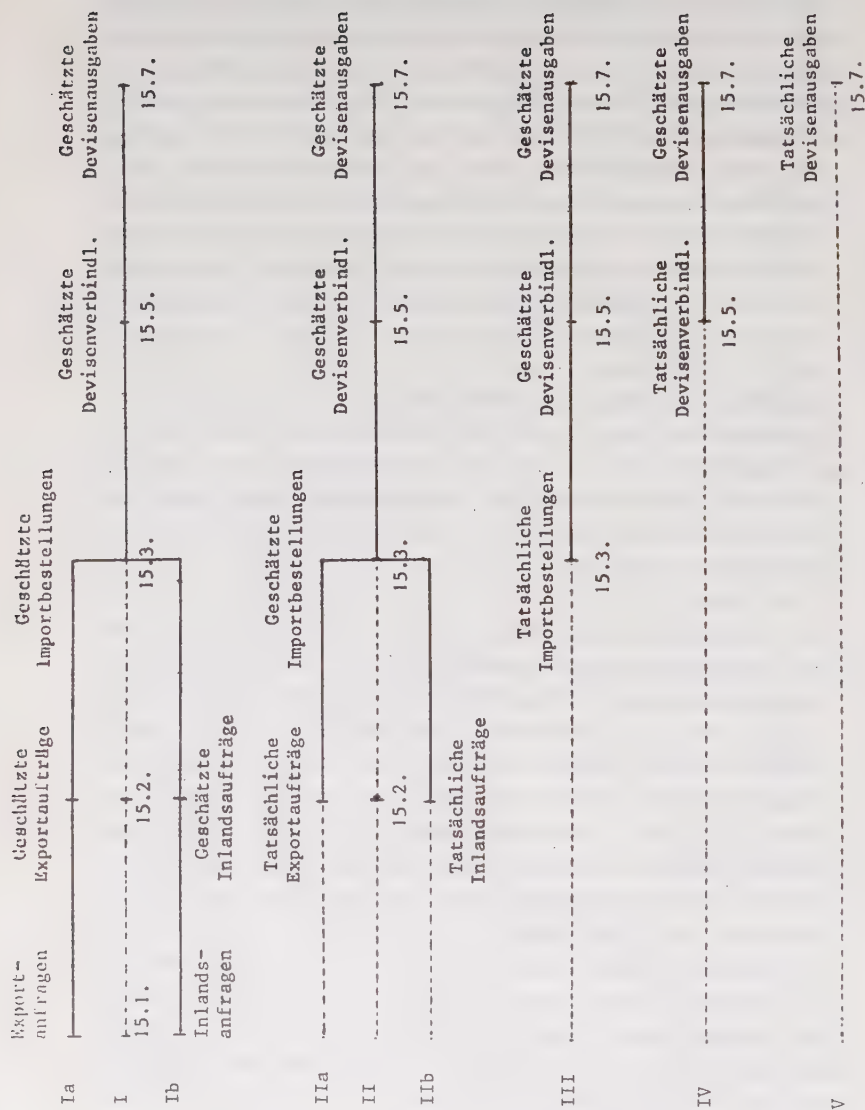


Abb. 2: Ablauf der Prognose von Devisenausgaben aus Export- und Inlandsanfragen

Bisher wurde die Schätzung der Devisenausgaben und -einnahmen am Beispiel eines Fertigungsbetriebes aufgezeigt. Die Vorgehensweise kann aber auf Export- und Importhandelsbetriebe übertragen werden, nur daß dann die Abhängigkeit eines Teiles der Importbestellungen von den Exportaufträgen nicht mehr gegeben ist. Die Schätzungen der Devisenausgaben aus Inlandsanfragen und der Deviseneinnahmen aus Exportanfragen stehen dann völlig isoliert nebeneinander. Die Zeitachsen Ia und IIa in Abb. 2 entfallen und die Achsen Ib und IIb sind mit I und II identisch, so daß Abb. 2 und Abb. 1 für diesen Fall die gleiche Struktur annehmen. Faßt man die nach Abb. 1 und 2 gewonnenen Werte zusammen, so ergibt sich am 15.7. der Prognosesaldo, der durch Kursicherungsmaßnahmen auszugleichen ist.

Die Gesamtstruktur der verschiedenen Phasen, gegeben aus der Prognose der Deviseneinnahmen und -ausgaben, läßt sich in übersichtlicher Weise durch ein Blockschaltbild darstellen (Abb. 3)¹⁾:

Damit sind der prinzipielle Aufbau und der Ablauf der Prognose beschrieben und durch Blöcke wiedergegeben. Es stellt sich nun die Aufgabe, die Blöcke miteinander zu verknüpfen, um daraus die Prognose der Deviseneinnahmen und -ausgaben abzuleiten.

1) In ähnlicher Weise lassen sich andere Phasenmodelle in Form von Blockschaltbildern darstellen. Vgl. dazu: H. Langen, Betr. Zahlungsströme, a.a.O., S. 271 f.; ders., Einige Werkzeuge betrieblicher Konjunkturtheorie. In: ZfB 1967, S. 553 ff.; ders., Preis- und Konditionenpolitische Maßnahmen in der Rezession. In: Unternehmenspolitik bei schwankender Konjunktur, Hrg. H. Jacob, Wiesbaden 1967, S. 43 ff.; ders., Die betriebswirtschaftliche Dispositionsrechnung im Dienste der Unternehmensführung. In: Unternehmensführung auf neuen Wegen, Hrg. R. Stöhr, Wiesbaden 1968, S. 231 ff.; R. Edin und H. Schmitt, Verweilzeitverteilungen und Prognosen. In: ZfbF 1969, S. 484 f.; G. Kockelkorn, Verweilzeitverteilungen und Prognosen im betrieblichen Produktionsbereich. In: ZfbF 1971, S. 83

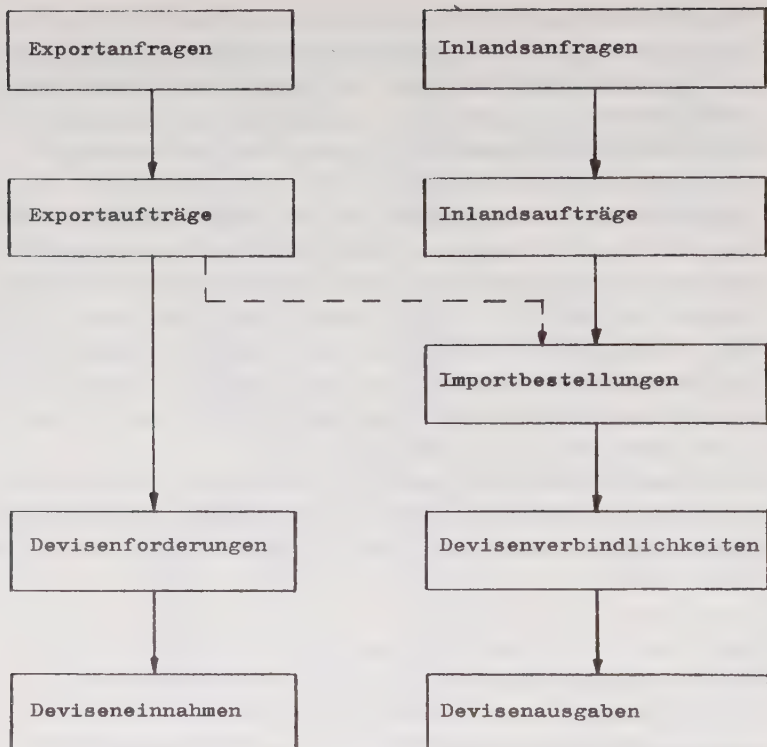


Abb. 3: Phasenfolge zur Prognose der Deviseneinnahmen und Devisenausgaben

Entsprechend dem oben Gesagten gilt die gestrichelte Linie, die eine Verzweigung der beiden Phasenfolgen darstellt, nur für Fertigungsbetriebe. Bei der Anwendung auf Handelsbetriebe entfällt diese Verbindung.

43. Die Prognose mittels Verweilzeitverteilungen

431. Die Grundstruktur der Prognosemethode

"Ein System, das zur Erklärung bestimmter Arten von Vorgängen geeignet ist, kann grundsätzlich auch zu ihrer Vorhersage verwendet werden. Man kann sagen, daß die Prognosemöglichkeit der unter praktischen Gesichtspunkten dominante Aspekt derart konstruierter Sprachspiele ist - eine Tatsache, die ihren klassischen Ausdruck in der prägnanten Comteschen Formel fand: 'savoir pour prévoir'." ¹⁾

Ausgehend von der Vorgehensweise bei der Exportauftragsabwicklung und unter Einbeziehung der Bestimmungsgrößen für die Importe, welche wiederum von der Unternehmungsart abhängig sind, wurde für die hier interessierende Problemstellung ein Ablaufmodell inform eines Blockschaltbildes aufgestellt, das die Gesamtzusammenhänge erklärt. Dabei sind die betrieblichen Stromgrößen derart voneinander abhängig, daß sich im Zeitablauf ein Transformationsprozeß vollzieht, der durch die verschiedenen Phasen im Ablaufschema gekennzeichnet ist. Auf der Basis dieses Erklärungsmodells soll versucht werden, die Deviseneinnahmen aus Exporten und die Devisenausgaben für Importe für verschiedene Währungen und Zeitpunkte zu prognostizieren, indem die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Phasen formelmäßig erfaßt werden. Es erhebt sich also die Frage, wie diese zeitliche Abfolge von Ereignissen beschrieben werden kann.

1) H. Albert, Theorie und Prognose in den Sozialwissenschaften. In: Logik der Sozialwissenschaften, Hrsg. E. Topitsch, Köln/Berlin 1965, S. 127; zitiert bei H. Langen, Grundzüge einer betriebswirtschaftlichen Dispositionsrechnung. In: ZfB 1966, Ergänzungsheft 1, S. 71, im folgenden zitiert als "Grundzüge".

4311. Grundannahmen des Prognosemodells

Die Systemtheorie beschreibt in Anlehnung an die Regelungstechnik¹⁾ die Transformation eines vorhergehenden Ereignisses²⁾ in ein nachfolgendes Ereignis durch Übergangsfunktionen, die die zeitlich-quantitativen Beziehungen zwischen Input und Output angeben. Es handelt sich dabei um die Aufstellung eines funktionalen Zusammenhangs zwischen Ereignissen, die je nach Problemstellung durch eine andere mathematische Formulierung zu verbinden sind. "Für die Planung und Kontrolle von dynamischen Betriebsprozessen ist es von größter Bedeutung, die genannten Übergangsfunktionen zu kennen. Denn ohne diese Kenntnis sagt das Phasenmodell lediglich etwas über die Struktur des Ablaufs und die chronologische Folge der betrieblichen Ereignisse aus. Es bleibt aber offen, welche Mengen und

-
- 1) Vgl. u.a.: W. Oppelt, Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge, 5. Aufl., Weinheim 1972; W. Leonhard, Einführung in die Regelungstechnik. Lineare Regelvorgänge, Braunschweig 1969; E. Samal, Grundriß der praktischen Regelungstechnik, Bd. 1, München/Wien 1971; DIN 19226, Regelungstechnik und Steuerungstechnik, Begriffe und Benennungen, Mai 1968.
 - 2) Der Begriff "Ereignis" ist der Netzplantechnik entnommen, wo z.B. Arbeitsabläufe oder Forschungsprojekte - wie etwa bei der Entwicklung des Polaris-Raketenprogramms - durch Ereignisse beschrieben und terminiert werden. Vgl. dazu: H. v. Falkenhausen, Prinzipien und Rechenverfahren der Netzplantechnik, 2. Aufl., Kiel 1968; E. Heinen, Industriebetriebslehre, Wiesbaden 1972; G. Buttler, Netzwerkplanung, Würzburg/Wien 1968; R.G. Busacker und T.L. Saaty, Endliche Graphen und Netzwerke. Eine Einführung mit Anwendungen, München/Wien 1968; P. Mertens, Netzwerktechnik als Instrument der Planung, In: ZfB 1964, S. 382 ff; R.N. Anthony, Planning and Control Systems - A Framework for Analysis, Soldiersfield, Boston 1965; B.C. Kuo, Linear Networks and Systems, New York u.a. 1967; F. Hanssmann, Operations Research Techniques for Capital Investment, New York/London/Sydney 1968, S. 214 f.

Werte zwischen den Ereignissen bewegt werden und wann die Bewegungen erfolgen." ¹⁾

Eine besondere Art von Übergangsfunktionen sind die Verweilzeitverteilungen; diese Konzeption wurde maßgeblich von H. Langen ²⁾ entwickelt und in verschiedenen Forschungsarbeiten schon erfolgreich angewendet. Da sich die Vorgehensweise auch auf die hier behandelte Problemstellung übertragen läßt, soll die Grundstruktur in Anlehnung an Langen aufgezeigt werden, wobei zunächst nur die Phasen Devisenforderungen → Deviseneinnahmen betrachtet werden sollen.

Die Prognose mittels Verweilzeitverteilungen basiert auf der Annahme, daß zwischen den Phasen ein Kausalzusammenhang ³⁾ besteht, der aufgrund empirischer Ermittlungen beschrieben werden kann. Es existiert also zwischen den Ereignissen ein Ursache-Wirkung-Zusammenhang, der in seiner zeitlichen Abfolge zur Prognose der jeweiligen "Wirkung" herangezogen werden soll. Das bedeutet, daß sich die Prognose der jeweiligen Daten nicht aus ihren eigenen Vergangenheitswerten herleitet - wie dies z.B.

1) R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 486

2) Vgl. u.a.: H. Langen, Die Prognose von Zahlungseingängen. Die Abhängigkeit der Bareinnahmen von Umsätzen und Auftragseingängen in dynamischer Betrachtung. In: ZfB 1964, S. 289 ff., im folgenden zitiert als "Prognose"; ders., Betr. Zahlungsströme, a.a.O., S. 271 ff.; ders., u.a., Unternehmensplanung mit Verweilzeitverteilungen, Berlin 1971, im folgenden zitiert als "Unternehmensplanung".

3) Beziehungen nach dem Kausalgesetz genügen der Form "wenn - dann" und behalten im Zeitablauf ihre Gültigkeit. Vgl. H. Reichenbach, Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie, Übertragung von M. Reichenbach, Berlin 1951, S. 179

bei den Verfahren der Trendrechnung oder des exponential smoothing der Fall ist¹⁾ - , vielmehr werden aus den Daten vorgelagerter Phasen die Daten späterer Phasen geschätzt. Durch die Verweilzeitverteilung wird dabei der Anteil eines Ereignisses festgelegt, der nach einer bestimmten Zeit in das folgende Ereignis übergeht. Im Falle des Phasenübergangs Devisenforderungen → Deviseneinnahmen werden durch die Verweilzeitverteilung diejenigen Anteile der Devisenforderungen bestimmt, die in den folgenden Perioden²⁾ zu Deviseneinnahmen führen. So kann durch die Verteilung etwa angegeben werden, daß in der ersten Periode 10%, in der zweiten Periode 30%, in der dritten Periode 40% und in der vierten Periode die restlichen 20% der Devisenforderungen zu Deviseneinnahmen führen werden.

Neben dieser Interpretation der Verweilzeitverteilung als Verhaltensparameter ist auch eine wahrscheinlichkeitstheoretische Auslegung möglich und - wie später noch zu zeigen sein wird -³⁾ auch nötig, sofern die Verteilungen der einzelnen Phasen nicht unabhängig voneinander sind. Die Verweilzeit wird dabei als diskrete Zufallsvariable⁴⁾ definiert, die eine Wahrscheinlichkeitsverteilung besitzt,

1) Vgl.: S. Gahse, Mathematische Vorhersageverfahren und ihre Anwendung, München 1971; R. Brown, Smoothing, Forecasting and Prediction, Englewood Cliffs 1963; W. Wetzel, Exponentiell gewichtete, univariable Prognosemodelle. In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik 181 (1967), Heft 1, S. 33 ff.; P. Lorenz, Der Trend, Berlin 1970; H. Müller-Merbach, Operations Research, Berlin 1969, S. 400 ff.

2) Im folgenden wird immer der Ausdruck "Periode" benutzt, wobei darunter je nach Ausgestaltung des Modells ein Tag, eine Woche oder irgendein Zeitintervall verstanden werden kann.

3) Vgl.: Punkt 433.

4) Vgl.: E. Kreyszig, a.a.O., S. 71 ff.; M. Spiegel, Theory and Problems of Statistics, New York 1961, S. 1 f.

durch die die Wahrscheinlichkeit der Zeitspanne zwischen Input- und Outputereignis fixiert wird.¹⁾

Das Prognosemodell mit Verweilzeitverteilungen stützt sich auf die empirisch nachgewiesene Annahme, daß unabhängig von den mit den Abnehmern vereinbarten Zahlungsbedingungen, die Forderungen nicht zu den im voraus vereinbarten Zeitpunkten zu Einnahmen werden, sondern über mehrere zukünftige Perioden verteilt dem Unternehmen als Zahlungen zufließen. So stellt Langen fest, daß bei einem Zahlungsziel von einem Monat erst 57% der Forderungen zu diesem Zeitpunkt auch tatsächlich getilgt waren²⁾. Um dieses Übergangsverhalten zu beschreiben, kann nicht von dem einzelnen Forderungsbetrag ausgegangen werden in der Annahme, daß dieser erst in mehreren Teilbeträgen beglichen wird. Selbst bei Teilzahlungsgeschäften ist die Anzahl der Raten doch ziemlich begrenzt und mit den empirisch ermittelten Verweilzeitverteilungen keineswegs vergleichbar³⁾. Daraus folgt, daß die Verweilzeitverteilung keine Aussage über eine einzelne bestimmte Devisenforderung ermöglicht, sondern nur bei einer Vielzahl von Ausgangsrechnungen pro Periode zu guten Ergebnissen führen kann. Dies erklärt sich daraus, daß der Zusammenhang zwischen den einzelnen Phasen nicht streng funktional gegeben ist, sondern auf stochastischen Abhängigkeiten beruht, die über statistische Erhebungen gewonnen werden müssen und erst bei großen Anzahlen einen entsprechenden Aussagewert besitzen.⁴⁾

1) Vgl.: R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 487

2) Vgl.: H. Langen, Grundzüge, a.a.O., S. 74

3) Vgl.: R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 491 ff.;
H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 299 ff.

4) Die Problematik der stochastischen Abhängigkeit trat Anfang dieses Jahrhunderts besonders bei der Entdeckung der Quantenmechanik zutage, als der Anspruch auf die Determiniertheit physikalischer Gesetze aufgegeben werden mußte. Dabei ist für sehr viele Teilchen eine Gesetzmäßigkeit zu beschreiben, während die Bahn eines einzelnen Elektrons nicht zu bestimmen ist. Vgl.: W. Heisenberg, Der Teil und das Ganze, München 1969

4312. Mathematische Formulierung des Phasenüberganges

Unterstellt man, daß diese Grundannahmen im Modell verwirklicht sind, so kann über den stochastischen Zusammenhang von den Devisenforderungen auf die Deviseneinnahmen geschlossen werden. Die verschiedenen Zahlungsanteile, die sich insgesamt (Forderungsausfälle ausgeschlossen) zu dem Gesamtforderungsbetrag addieren, werden in ihrer zeitlichen Abfolge durch die Verweilzeitverteilung erfaßt und bilden das sog. Liquidationsspektrum¹⁾ der Devisenforderungen. Dieses Liquidationsspektrum ist also das Abbild der Zahlungsgewohnheiten der Kundschaft²⁾ und kann als Zahlenfolge oder als Vektor³⁾ dargestellt werden. Bei der Vektorschreibweise handelt es sich um sog. Spektralvektoren, deren Komponenten die zeitliche Verteilung und die Beträge der aus den Devisenforderungen resultierenden Zahlungsanteile bestimmen.⁴⁾ Wird das Liquidationsspektrum aufgrund statistischer Erhebungen ermittelt und unterstellt man seine Konstanz im Zeitablauf, so können aus den Devisenforderungen die Deviseneinnahmen prognostiziert werden. Dabei sind die zurückliegenden Devisenforderungen solange in die Rechnung noch mit einzubeziehen, wie sich ihre Liquidation in die Zukunft erstreckt. Dauert es z.B. 5 Perioden, bis die Einnahmen aus Devisenforderungen zu-

1) Die Terminologie stammt von H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 293, der von einem Liquidationsspektrum der Tagesumsätze spricht.

2) Ebenso wie mittels des Liquidationsspektrums die Zahlungsgewohnheiten der Kundschaft bestimmbar sind, können mit der Spektralmethode auch die Zahlungsgewohnheiten eines bestimmten Unternehmens analysiert werden. Unter diesem Aspekt könnte die Spektralmethode auch Eingang in die Insolvenzenforschung finden, wobei versucht wird, daraus Kriterien für die Insolvenzgefahr abzuleiten.

3) Vgl.: A. Klingst, a.a.O., S. 9 ff.

4) Bezüglich der Bezeichnungen vgl.: H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 293

fließen, so sind auch die Devisenforderungen der letzten 5 Perioden zur Prognose heranzuziehen. Ein Zahlenbeispiel soll die Vorgehensweise näher beleuchten.

Angenommen, die Devisenforderungen gehen in der ersten Periode zu 10%, in der zweiten Periode zu 20%, in der dritten Periode zu 30%, in der vierten Periode zu 30% und in der fünften Periode zu 10% als Zahlungen ein, so ergibt sich folgender Spektralvektor:

Als Zeilenvektor: $s' = (0,1; 0,2; 0,3; 0,3; 0,1)$

Oder als Spaltenvektor¹⁾

$$s = \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0,2 \\ 0,3 \\ 0,3 \\ 0,1 \end{bmatrix}$$

Unter der Voraussetzung, daß keine Forderungsausfälle eintreten und keine Nachlässe irgendwelcher Art (z.B. Skonti) gewährt werden, muß die Komponentensumme des Vektors 1 sein, da im Laufe der 5 Perioden der Forderungsbetrag insgesamt zu Deviseneinnahmen führt. Man bildet das innere Produkt:

$$(0,1; 0,2; 0,3; 0,3; 0,1) \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,3 + 0,1 = 1$$

1) Die Unterscheidung in Zeilenvektor und Spaltenvektor ist für die mathematische Formulierung von Belang. Die Aussage beider Vektoren ist hier identisch.

Man kann aufgrund dieses Vektors nun feststellen, welche Anteile eines Forderungsbetrags, der in der Periode t entsteht, in den nächsten Perioden als Deviseneinnahmen der Unternehmung zufließen. Andererseits können die Einnahmen in der Periode t errechnet werden, sofern die Forderungsbeträge der vier zurückliegenden Perioden noch in die Rechnung mit einbezogen werden. Die Werte der Devisenforderungen der entsprechenden fünf Perioden seien folgendermaßen angenommen:

$$f_t, f_{t-1}, \dots, f_{t-4} = 200, 100, 200, 300, 250$$

Durch Berechnung des inneren Produkts ergeben sich für die Periode t Deviseneinnahmen in folgender Höhe:

$$(200, 100, 200, 300, 250) \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,2 \\ 0,3 \\ 0,3 \\ 0,1 \end{pmatrix} =$$

$$200 \cdot 0,1 + 100 \cdot 0,2 + 200 \cdot 0,3 + 300 \cdot 0,3 + 250 \cdot 0,1 = 215$$

Allgemein läßt sich damit die Prognosefunktion für die Periode t schreiben:

$$\begin{aligned} \hat{e}_{t,k} &= f_{t,k} \cdot s_{0,k}^e + f_{t-1,k} \cdot s_{1,k}^e + \dots + f_{t-n,k} \cdot s_{n,k}^e \\ &= \sum_{i=0}^n f_{t-i,k} \cdot s_{i,k}^e \end{aligned}$$

für alle $k = 1, \dots, l$

Entsprechend den in Abschnitt 41. gewählten Bezeichnungen bedeuten die Symbole:

- $\hat{e}_{t,k}$: geschätzte Deviseneinnahmen der Währung k in der Periode t
- $f_{t-i,k}$: Devisenforderungen der Währung k in der Periode t - i
- $s_{i,k}^e$: Komponenten des Spektralvektors der Deviseneinnahmen aus Devisenforderungen der Währung k
- $k = 1, \dots, l$: laufender Index der verschiedenen Währungen, die im Prognosemodell zu erfassen sind
- Index e : bezeichnet den Phasenübergang von den Devisenforderungen zu den Deviseneinnahmen
- $i = 0, \dots, n$: bezeichnet die Komponenten des Spektralvektors und bestimmt damit gleichzeitig die Anzahl der zurückliegenden Forderungsbeiträge, die noch in den Prognosekalkül einzubeziehen sind.¹⁾

Für die $k = 1, \dots, l$ verschiedenen Währungen ergeben sich nun l Schätzungen der Deviseneinnahmen aus Devisenforderungen. Als Zeilenvektor geschrieben, ergibt sich folgende Darstellung:

$$\hat{e}_{t,k}' = (\hat{e}_{t,1}, \hat{e}_{t,2}, \dots, \hat{e}_{t,l})$$

Wie oben beschrieben, sind jedoch Devisenkurssicherungsge­schäfte erst dann sinnvoll und effizient, wenn die Prognosewerte für mehrere Perioden im voraus vorliegen. Nach dem beschriebenen Prognosemodell ist dies aber nur möglich,

1) In Abschnitt 41. wurde i als laufender Index der verschiedenen Exporteinnahmen verwendet. Da für Kurs­sicherungszwecke pro Periode und Währung jedoch nur der Gesamtsaldo interessiert, wurden unter Punkt 41. die Einzelbeträge in einem weiteren Schritt summiert, und nur noch die kumulierten Periodenbeträge der Importe, Exporte und sonstige Devisenaktiva und -passiva be­trachtet. Der Index i kann nun für die Bezeichnung der Spektralvektorkomponenten herangezogen werden.

wenn die Forderungsbeträge weiterer Perioden bekannt sind, die dann entsprechend durch die Multiplikation mit dem Spektralvektor in die Deviseneinnahmen umgerechnet werden können. Nimmt man die Forderungsbeträge weiterer Perioden noch hinzu, so lassen sich mehrere solcher Prognosegleichungen aufstellen. Die Zusammenfassung dieser Gleichungen für aufeinanderfolgende Perioden führt zu einem linearen Gleichungssystem, das in Matrizenform folgendermaßen abgebildet werden kann:¹⁾

$$\begin{bmatrix} f_{t,k} & f_{t-1,k} & \dots & f_{t-n,k} \\ f_{t+1,k} & f_{t,k} & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ f_{t+m,k} & & & f_{t+m-n,k} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{0,k}^e \\ s_{1,k}^e \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_{n,k}^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{e}_{t,k}^A \\ \hat{e}_{t+1,k}^A \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{e}_{t+m,k}^A \end{bmatrix}$$

Faßt man die Zeilen zusammen, so ergibt sich die Gleichung:

$$\hat{e}_{t+j,k}^A = \sum_{i=0}^n f_{t+j-i,k} \cdot s_{i,k}^e$$

1) Hier soll von der in Abschnitt 41. gewählten Bezeichnung des Prognosezeitraums T, die dort der Anschaulichkeit wegen gewählt wurde, abgegangen werden, da sonst für die einzelnen Phasen Teilprognoseräume zu definieren wären. Entsprechend der Argumentation in der vorangegangenen Fußnote, können mit m die weiteren Perioden gekennzeichnet werden. Für die einzelnen zu betrachtenden Währungen können unterschiedliche Spektralvektoren und verschiedene Anzahlen von Forderungsbeträgen zu erfassen sein. Das bedingt, daß für n und m je nach Währung andere konkrete Werte einzusetzen sind, was für n und m einen weiteren Index für die Währungen erfordern würde. Aus Gründen der Übersichtlichkeit soll diese "Unkorrektheit" hier eingegangen werden.

für alle $j = 0, 1, \dots, m$ und $k = 1, \dots, 1$

Dabei gilt außerdem:

$$\sum_{i=0}^n s_{i,k}^e = 1$$

Entsprechend dem in Abschnitt 41. Gesagten ergeben sich $1 \cdot (m + 1)$ Prognosewerte für die Deviseneinnahmen der Perioden t bis $t + m$ und der Währungen $k = 1, \dots, 1$.

Aus dem Tableau ist ersichtlich, daß sich die Prognosewerte für die Perioden aus den Forderungsbeträgen der jeweiligen Periode und denen der n vorangegangenen Perioden zusammensetzen. Dies wiederum bedeutet, daß $n + 1$ Forderungsbeträge in den Kalkül einzubeziehen sind, um einen ersten sinnvollen Prognosewert zu bekommen. "Stehen beispielsweise die Devisenforderungsbeträge (Umsätze, d.Verf.) von der Periode t_0 an zur Verfügung, so gilt die erste Prognose für die Periode $t_0 + n$. Bei gegebener Forderungsreihe (Umsatzreihe, d.Verf.) bestimmt die Länge der Verweilzeitverteilung den ersten Prognosetermin."¹⁾ Um darüber hinaus eine Prognose für weitere Perioden abgeben zu können, müssen die Devisenforderungsbeträge zukünftiger Perioden bekannt sein. Bekannt kann dabei auch in dem Sinne verstanden werden, daß es sich um geschätzte Devisenforderungen handelt. Die Ermittlung von Prognosewerten für $m + 1$ Perioden erfordert daher insgesamt bekannte Devisenforderungsbeträge von $n + m + 1$ Perioden.

Um das bisher Gesagte zu verdeutlichen, werden obigem Zahlenbeispiel weitere Devisenforderungsbeträge zugefügt. Dabei sei von folgenden - extrem gewählten - Werten ausgegangen:

$$f_{t+1}, f_{t+2}, f_{t+3}, f_{t+4} = 250, 200, 150, 200$$

1) R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 497

Daraus ergibt sich folgendes Tableau:

$$\begin{bmatrix} 200 & 100 & 200 & 300 & 250 \\ 250 & 200 & 100 & 200 & 300 \\ 200 & 250 & 200 & 100 & 200 \\ 150 & 200 & 250 & 200 & 100 \\ 200 & 150 & 200 & 250 & 200 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0,2 \\ 0,3 \\ 0,3 \\ 0,1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 215 \\ 185 \\ 180 \\ 200 \\ 205 \end{bmatrix}$$

Die einzelnen Prognosewerte errechnen sich entsprechend dem inneren Produkt, wie oben bereits gezeigt wurde. Man sieht, daß jeder Wert entsprechend der Komponentenzahl des Spektralvektors zur Prognose herangezogen und im Zeitablauf mit allen Komponenten gewichtet wird.

Gegenüber anderen Verfahren wird hier ein gewisser Nachteil der Prognose mittels Verweilzeiten sichtbar. Aus bereits realisierten Größen - also vergangenen oder gegenwärtigen Devisenforderungen - können nur "Prognosen" für die gegenwärtigen Devisengesamteinnahmen gemacht werden. Für weitere n Perioden sind nur die Größen als sichere Ausgangswerte noch gegeben, die bereits realisiert sind. Das bedeutet, daß nur noch Anteile der späteren Deviseneinnahmen aufgrund realisierter Werte prognostiziert werden können. Für das Zahlenbeispiel ergeben sich daraus noch folgende Anteile:

$$\begin{bmatrix} 200 & 100 & 200 & 300 & 250 \\ 0 & 200 & 100 & 200 & 300 \\ 0 & 0 & 200 & 100 & 200 \\ 0 & 0 & 0 & 200 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 200 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0,2 \\ 0,3 \\ 0,3 \\ 0,1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 215 \\ 160 \\ 110 \\ 70 \\ 20 \end{bmatrix}$$

Die Prognose setzt sich in der ersten Periode aus lauter Ist-Werten zusammen und basiert damit ausschließlich auf realisierten Größen. Die Prognose der Deviseneinnahmen

weiterer Perioden setzt sich sowohl aus realisierten als auch aus geschätzten Devisenforderungen zusammen. Dies hat zur Folge, daß bereits bestehende Schätzfehler bei den Ausgangsgrößen die Einnahmenprognose beeinträchtigen, wobei der Anteil der geschätzten Ausgangsgrößen mit jeder Periode noch zunimmt. In dem Rechenbeispiel sind es nur noch knapp 10% der Einnahmen, die bei dem Prognosewert für die fünfte Periode aus realisierten Werten resultieren; die Gesamtprognose wird somit mit steigender Periodenzahl zunehmend ungenauer. Nach $n + 1$ Perioden schließlich basieren die Prognosewerte nur noch auf geschätzten Ausgangsgrößen, und der mögliche Prognosezeitraum hängt von der Anzahl der Schätzwerte für die Ausgangsgrößen ab.

4313. Die Möglichkeit der Planrevision

Das Vorhandensein von Ist- und Plan-Größen ermöglicht in jeder Periode eine Planrevision, indem die geplanten Ausgangsgrößen bei einer eventuellen Abweichung im Zeitpunkt ihrer Realisierung durch die Ist-Werte ersetzt werden. Diese Revision wirkt sich dann entsprechend auf die folgenden n Perioden aus, da aufgrund der Komponentenzahl die Größen solange zur Prognose beitragen. Langen¹⁾ spricht hier von einer "revidierten Matrix der Planumsätze", die unter Verwendung der oben eingeführten Bezeichnung für Schätzwerte auf den Anwendungsfall übertragen werden kann. Dabei werden die Devisenforderungen bis einschließlich Periode t als Ist-Werte betrachtet:

$$\begin{pmatrix} f_{t,k} & f_{t-1,k} & \dots & f_{t-n,k} \\ \hat{f}_{t+1,k} & f_{t,k} & & \\ \hat{f}_{t+2,k} & \hat{f}_{t+1,k} & & \end{pmatrix}$$

1) H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 298

$$\begin{pmatrix} \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \hat{f}_{t+m,k} & \dots & \hat{f}_{t+m-n,k} \end{pmatrix}$$

In der Matrizendarstellung wird dabei unterstellt, daß $m > n$ ist. Dies muß jedoch nicht der Fall sein, besonders wenn in praxi relativ lange Verweilzeitverteilungen vorkommen, und eine Schätzung der Ausgangsgrößen für diese Zeitspanne nicht möglich ist. In solchen Fällen befinden sich in der(n) letzten Zeile(n) nicht lauter Schätzwerte, sondern auch noch Ist-Größen. Allgemein kann die Anzahl der geschätzten Ausgangsgrößen für die einzelnen Prognoseperioden folgendermaßen angegeben werden:

$$\text{Anzahl}^{1)} \text{ der } \hat{f}_{t+j-1} = \begin{cases} j = 0, 1, \dots, m \text{ für } m \leq n \\ n + 1 & \text{für } m > n \end{cases}$$

Ob die Planwerte dann tatsächlich in jeder Periode durch die Ist-Werte ersetzt werden - wie es in obiger Formulierung unterstellt ist-, wird in praxi durch eine Rentabilitätsrechnung zu entscheiden sein. Von großer Bedeutung ist dabei jedenfalls die Korrekturmöglichkeit der Daten, die in jedem Rechenprogramm - wie z.B. bei der Lohnabrechnung für die Korrektur von Arbeitnehmerstammdaten - zu berücksichtigen ist, also insgesamt die Organisation der Planrevision²⁾. Die Kosten der Planrevision und die dadurch voraussichtlich vermiedenen Verluste sind entsprechend gegeneinander abzuwägen.

-
- 1) Für die Anzahl der Schätzgrößen sollte hier keine eigene Bezeichnung eingeführt werden; sie ist daher nicht mit dem Wert der Ausgangsgrößen zu verwechseln.
 - 2) In Anlehnung an E. Lindahl, Studies in the Theory of Money and Capital, London 1939, S. 101, formuliert H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 298, ein Maß für die Qualität der Planungsorganisation.

Aber unabhängig davon, daß die Prognose der Deviseneinnahmen auf Plan- und Ist-Werten aufbaut, handelt es sich bei den Deviseneinnahmen um geplante Größen, die entsprechende Prognosefehler aufweisen werden.

Die Frage erhebt sich nun zwangsläufig, wie die geplanten Ausgangsgrößen gewonnen werden können. Grundsätzlich ließe sich hier wiederum jedes Planungs- bzw. Prognoseverfahren anwenden, um die entsprechenden Voraussetzungen zu schaffen. Wie sich jedoch aus dem Phasenmodell unmittelbar anbietet, soll versucht werden, zwischen den anderen Phasen ähnliche Zusammenhänge aufzustellen, die den Übergang von der einen zur anderen Phase beschreiben und erklären. Entsprechend dem eingangs Gesagten können diese Erklärungsmodelle als Prognosemodell für die anderen Phasen dienen, wodurch mehrgliedrige Phasenfolgen entstehen. Auf die Zusammenfassung von eingliedrigen zu mehrgliedrigen Phasenfolgen wird im übernächsten Abschnitt noch näher einzugehen sein, nachdem im nächsten Punkt die Ermittlung der einzelnen Verteilungen beschrieben worden ist.

432. Die Ermittlung der Verweilzeitverteilungen

4321. Notwendige Vorentscheidungen für die Ermittlung der Verweilzeitverteilungen

"Die Ermittlung von Verweilzeitverteilungen erfolgt durch statistische Erhebung und Auswertung der die einzelnen Ereignisse dokumentierenden betrieblichen Daten. Dabei sind vor Durchführung der Erhebung Vorüberlegungen bezüglich des Erhebungszeitraumes (Kalenderzeitraum, dem die Daten entnommen werden), der Basisperiode (Zeiteinheiten, in die der Erhebungszeitraum unterteilt und in denen die Verweilzeit gemessen wird), des Erhebungsum-

fanges (Vollerhebung aller Ereignisse oder Stichproben-
erhebung) und der Erhebungselemente (Arten der zu er-
hebenden Daten) notwendig."¹⁾

Um statistisch fundierte Aussagen machen zu können, ist es notwendig, möglichst viele Eingangs- und Ausgangsdaten zu erfassen, d.h. den Erhebungszeitraum genügend lang zu bemessen. In einer sich ständig weiterentwickelnden Wirtschaft kann dies jedoch für weiterreichende Prognosen problematisch sein. Ändern sich z.B. die Zahlungsgewohnheiten der Amerikanischen Kundschaft aufgrund der konjunkturellen Entwicklung, des Zinsniveaus, der Wechselkursveränderungen und weiterer Einflußfaktoren im Zeitablauf, so können bei einem lang dimensionierten Erhebungszeitraum die Modellbedingungen von der Realität gravierend abweichen. "Geht man davon aus, daß sich die wirtschaftlichen Gegebenheiten in der Regel nicht abrupt, sondern allmählich verändern, so ist die Repräsentanz des Erhebungszeitraumes am ehesten gewährleistet, wenn er möglichst nahe am Prognosezeitraum liegt. Eine andere Wahl ist aber dann angezeigt, wenn die Geschäftstätigkeit des Unternehmens oder auch der Branche starken saisonalen Schwankungen unterliegt. Hier erscheint es zweckmäßig, für jeden Saisonabschnitt aus dem vorangehenden Geschäftsjahr eine gesonderte Verweilzeitverteilung zu ermitteln und entsprechend mit mehreren Verteilungen in der Prognose zu arbeiten."²⁾

Auf diese Weise erreicht man eine abschnittsweise "Gleichheit" von Modell und Realität. Welche Bemessung des Erhebungszeitraumes angebracht ist, ist im Einzelfall unter Betrachtung mikro- und makroökonomischer Größen zu entscheiden.

1) H. Langen und F. Weinthaler, Prognose mit Hilfe von Verweilzeitverteilungen. In: Prognoserechnung, Hrsg. P. Mertens, Würzburg/Wien 1973, S. 119

2) R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 487

Des weiteren ist darüber zu befinden, wie die Basisperiode im Modell bemessen werden soll bzw. kann¹⁾. Für den hier betrachteten Anwendungsfall kommt der Basisperiode in zweifacher Hinsicht Bedeutung zu; neben den sonst aufgrund zeitlicher Diskrepanzen entstehenden Zinsverlusten treten in diesem Falle noch eventuelle Kursverluste hinzu, die bei flexiblen Wechselkursen innerhalb weniger Tage erhebliche Einbußen bedeuten können. Insofern wird man hier besonders bestrebt sein, den Arbeitstag als Basisperiode zu wählen, da bei der Wahl längerer Zeitintervalle sämtliche Prognosewerte dieses Zeitabschnitts am Ende des Intervalls zusammengefaßt werden, und über das Verhalten der Größen während der Periode keine Aussage möglich ist.

Dieser erhöhten Informationsfähigkeit aufgrund der Ermittlung von Tagessalden steht jedoch die Notwendigkeit gegenüber, einen entsprechend repräsentativen Datenumfang zu besitzen und auszuwerten. Dazu gehört nicht nur, daß die Daten möglichst vieler zurückliegender Perioden bekannt sind, sondern daß auch eine entsprechende Vielzahl von Ereignissen pro Basisperiode auftreten. Ist dies nicht der Fall, so ist bei dieser Periodenlänge der gewünschte stochastische Zusammenhang nicht mehr gegeben, und es muß auf längere Zeitintervalle übergegangen werden, um die Prognosegenauigkeit nicht zu sehr zu beeinträchtigen²⁾. Um das Modell auf Tagesbasis formulieren zu können, ist es also notwendig, daß in jeder Währung eine entsprechende tägliche Geschäftshäufigkeit vorliegt, die einen stati-

1) Bisher wurde nur der Begriff "Periode" benutzt, wobei darunter jeder definierte Zeitraum verstanden werden konnte, der z.B. einen Tag, eine Woche, einen Monat usw. umfassen konnte.

2) Vgl.: H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 301 f.; ders., Grundzüge, a.a.O., S. 81; H. Schmitt, Die Planrevision in dynamischen Abgangsfolgemodellen. In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis 1968, S. 35; R. Edin, Wirkungsweise und Voraussetzungen der Prognose mittels Verweilzeitverteilungen. In: ZfB 1968, S. 753, im folgenden zitiert als "Wirkungsweise".

stischen Zusammenhang zwischen Input und Output entfaltet. Sind z.B. pro Tag nur einzelne oder öfter auch gar keine Fremdwährungsgeschäfte zu tätigen, wird die Prognose von Tagessalden sicher keine guten Ergebnisse liefern können. Dabei können von Währung zu Währung jedoch erhebliche Unterschiede bestehen, was eine getrennte Erhebung der Verweilzeitverteilungen für die Währungsgebiete erforderlich machen kann.

Bei einer ungenügenden Anzahl von Geschäftsvorfällen pro Tag ist es jedoch möglich, die Ergebnisse der Tagessalden zu größeren Zeitintervallen zusammenzufassen, um für die längere Periode insgesamt eine höhere Genauigkeit zu erreichen¹⁾. Welche Basisperiode im Anwendungsfall auszuwählen ist, kann aber nur in praxi entschieden werden, wobei neben rein statistischen Überlegungen auch Rentabilitäts Gesichtspunkte eine Rolle spielen. Ein Modell auf Tagesbasis aufzubauen, ist zunächst sowohl vom Rechenaufwand als auch vom Erfassungsaufwand her wesentlich komplizierter, als wenn größere Perioden einbezogen werden. Dazu kommt, daß die Summe der absoluten Fehler auch bei genügender statistischer Absicherung auf Tagesbasis immer größer sein wird, als bei längeren Intervallen, was jedoch durch höhere Termingenauigkeit überkompensiert werden kann. Es stellt sich also die Frage, ob aufgrund höherer Termin-genauigkeit Tagessalden oder wegen höherer Betragsgenauigkeit z.B. Wochensalden zu bilden sind.

1) Die Wahl eines bestimmten Zeitintervalls hat sich dabei in wirtschaftlich sinnvollen Dimensionen zu bewegen. Dazu schreibt H. Wedekind, Ein Vorhersagemodell für sporadische Nachfragemengen bei der Lagerhaltung. In: Ablauf- und Planungsforschung 9, 1968, S. 2: "Durch übermäßiges Ausdehnen oder Verkleinern der Zeitabstände verlieren die Zeitreihen Kategorien ihren Sinn. So kann man z.B. durch Vergrößerungen von einem Monat auf ein Jahr sehr viele trend-saisonale Zeitreihen in Zeitreihen mit reinem Trend überführen. Geht man hingegen auf Tage, Stunden oder gar Minuten über, so sind alle Zeitreihen des wirtschaftlichen Lebens sporadisch". Wenn hier auch ein anderes Anwendungsgebiet zugrundeliegt, ist die generelle Problematik doch übertragbar.

Zu der Ungenauigkeit in terminlicher Hinsicht und dem damit verbundenen höheren Kursrisiko kann bei längeren Perioden noch zusätzlich ein Liquiditätsproblem hinzukommen. Hat ein Unternehmen bei einer Prognose auf Wochenbasis ein Fremdwährungspassivum - z.B. Verbindlichkeiten aus Wareneingang -, das an einem Montag fällig ist, durch ein Fremdwährungsaktivum - z.B. durch Vergabe eines Fremdwährungskredits -, der am darauffolgenden Freitag zurückgezahlt wird, abgesichert, wobei sich die Beträge entsprechen sollen, so muß über den Zeitraum Montag bis Freitag dieser Betrag extra finanziert werden. Geht man davon aus, daß die zur Kurssicherung zu bildenden Währungsaktiva und -passiva terminlich besser zu bestimmen sind als die Aktiva und Passiva der laufenden Geschäftstätigkeit, so ist im Falle längerer Basisperioden zur Vermeidung evtl. Liquiditäts- und Finanzierungsprobleme zu fordern, daß die Sicherungsaktiva jeweils am Anfang, die Sicherungspassiva jeweils am Ende der gewählten Basisperiode fällig werden. Auf diese Weise können Liquiditäts- und Finanzierungsschwierigkeiten vermieden werden, was dann allerdings mit entsprechenden Zinsverlusten bezahlt werden muß. Für das gewählte Beispiel würde das also bedeuten, daß Sicherungsaktiva am Montag und Sicherungspassiva am Freitag fällig werden sollten. Allgemein läßt sich aus diesen Überlegungen schließen:

Sind die¹⁾

Zinsverluste durch die Wahl der längeren Periode

1) Bei allen hier zu erfassenden Größen handelt es sich um Erwartungsgrößen, da eben keine genaue Kenntnis der Zinsverluste und der Kursverluste vorliegt, was die Konzeption eines Prognosemodells entbehrlich machen würde. Es entsteht also wieder ein Prognoseproblem. Die verschiedenen Modellvarianten können jedoch an Vergangenheitswerten getestet werden, wodurch deren prinzipielle Reaktion erkennbar werden sollte. Da dieses vereinfachte Schema ohnehin keine exakten Aussagen ermöglicht, könnte so ein erster Ansatzpunkt gefunden werden.

- + Kursverluste¹⁾, die bei längeren Perioden hauptsächlich infolge der Termindivergenzen entstehen werden,

kleiner als der

zusätzliche Erfassungsaufwand bei der kleineren Periode

- + zusätzliche Rechenaufwand bei der kleineren Periode
- + Kursverluste, die bei der kürzeren Periode hauptsächlich durch Betragsdivergenzen verursacht werden,

so ist die längere Periode als Basisperiode im Modell zu verwenden. Bei entgegengesetzter Datenkonstellation ist entsprechend zugunsten der kürzeren Periode zu entscheiden. Mit diesen Kriterien können jedoch bestenfalls die prinzipiellen Unterschiede herausgestellt werden; die Bestimmung der "Optimalperiode" bedarf der Kenntnis sehr exakter Zusammenhänge, die möglichst in einem Optimierungsalgorithmus erfaßbar sein sollten, wobei je nach Anwendungsgebiet unterschiedliche Komponenten in Betracht gezogen werden müssen.

Dem für den hier behandelten Problemkreis zu konzipierenden Modell soll der Arbeitstag²⁾ als Basisperiode zugrundegelegt werden, zumal - wie oben beschrieben - neben den Vorteilen einer Tagesprognose immer noch die Möglichkeit besteht, durch Aggregation zu längeren Zeitintervallen überzugehen, was im konkreten Fall durch die Addition der

-
- 1) Da nur die Bedeutung der Kurssicherung betrachtet wird, werden evtl. Gewinne nicht explizit aufgeführt. Sollten sie jedoch erfaßbar sein, sind sie mit den Verlusten zu saldieren.
 - 2) Der Arbeitstag wird hier als Basisperiode betrachtet, da nur an einem solchen Tag abzusichernde Devisenaktiva und -passiva bestehen und entstehen können. "Glaubt man beispielsweise die Verweildauerintervalle bis auf Kalendertage verkürzen zu können, wird man daran scheitern, daß an bestimmten Kalendertagen, wie Sonn- und Feiertagen Einzahlungen der Schuldner nicht stattfinden." H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 305

Zeilen der jeweiligen Matrix geschehen¹⁾ und von Phase zu Phase unterschiedlich erfolgen kann.

Bei der Bemessung des Erhebungsumfanges handelt es sich vorwiegend um ein statistisches Problem. Vollerhebungen sind selten, so daß meist aufgrund von Stichproben die Verweilzeitverteilungen ermittelt werden, wobei sich der Umfang nach den Methoden der Stichprobentheorie bestimmt. "Für Fälle, in denen die Voraussetzungen für eine exakte Berechnung fehlen, hat sich ein Stichprobenumfang von $n = 500$ Erhebungselementen bewährt."²⁾

Die Erhebungselemente umfassen diejenigen betrieblichen Unterlagen, die die Ereignisse der einzelnen Phasen genau spezifizieren, d.h. diese quantitativ, qualitativ und vor allem auch zeitlich genau beschreiben, um die Berechnung der Verweilzeitverteilung zu ermöglichen.³⁾ Je nach Phase kommen dabei verschiedene Dokumente in Betracht, wie etwa Buchungen, Ausgangsrechnungen, Bestellscheine, Auftragsbestätigungen u.a.m..

1) Vgl.: H. Schmitt, a.a.O., S. 36 f.

2) H. Langen, u.a., Unternehmensplanung, a.a.O., S. 24. Eine sehr eingehende Behandlung des Stichprobenumfangs ist bei L. Neumeyer, a.a.O., S. 29 ff. wiedergegeben. Hier werden zunächst die Determinanten des Stichprobenumfangs ausführlich dargestellt. Danach wird ein Formelansatz für den Stichprobenfehler und -umfang bei einstufiger und mehr (drei-) stufiger Auswahl vorgeführt, der ein Wahrscheinlichkeitstheoretisch fundiertes Erhebungsverfahren ermöglicht. Vgl.: H. Kellerer, Theorie und Technik des Stichprobenverfahrens, 3. Aufl., München 1963, S. 44 ff.; G. Menges, Stichproben aus endlichen Gesamtheiten. Theorie und Technik, Frankfurt/M. 1959, S. 115 ff.; E. Kreyszig, a.a.O., S. 163 ff.; K. Szameitat und S. Koller, Über den Umfang und die Genauigkeit von Stichproben. In: Wirtschaft und Statistik, 1958, S. 14 f.

3) Vgl.: R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 488; H. Langen, u.a., Unternehmensplanung, a.a.O., S. 24

4322. Arten von Verweilzeitverteilungen

Nachdem die nötigen Vorüberlegungen getroffen sind, kann mit der eigentlichen Ermittlung der Verteilungen begonnen werden. D.h. in Abhängigkeit von der Zeit sind die Anteile oder Häufigkeiten eines Ereignisses zu messen, die in ein anderes Ereignis übergehen. Dabei lassen sich zwei Arten von Verweilzeitverteilungen unterscheiden. "Interessieren als Erhebungsmerkmale nur die Zeitpunkte der Input- und Outputereignisse einer Phase, so basiert die relative Häufigkeit der Verweilzeiten allein auf der Anzahl der Ereignisse. Derartige Verweilzeitverteilungen werden Anzahlverteilungen genannt. Erhebt man zusätzlich die Beträge der Input- und Outputereignisse, so beziehen sich die Komponenten der Verweilzeitverteilung auf Ereignisbeträge. Diese Verteilungen heißen Betragsverteilungen."¹⁾

Bei der Bildung von Anzahlverteilungen bestehen die Komponenten der Verweilzeitverteilungen aus den Quotienten von den im Zeitablauf anfallende Anzahlen von Ereignissen zu der Gesamtzahl der Ereignisse. So wird etwa die Zahl der Rechnungen, die in einer Periode beglichen werden, zur Gesamtzahl der untersuchten Rechnungen in Beziehung gesetzt. Diese Art von Verteilung ist an z.T. sehr unrealistische Prämissen geknüpft und liefert außerdem in der Regel ungenauere Prognosen.²⁾ Für den hier zu untersuchenden Anwendungsfall sind diese Verteilungen praktisch nicht geeignet, weswegen sie nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden sollten. Im folgenden wird daher ausschließlich auf Betragsverteilungen eingegangen, und es erfolgt in allen Phasen lediglich eine wertmäßige Erfassung. Bei der Erörterung der Grundstruktur des Prognosemodells mittels Verweilzeiten wurden Betragsver-

1) R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 488 f.

2) Vgl.: R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 489 und 498 ff.; Ein Beispiel für die praktische Ermittlung von Anzahlverteilungen findet sich bei H. Langen, u.a., Unternehmensplanung, a.a.O., S. 24 ff.

teilungen schon stillschweigend unterstellt, denn es werden Gesamtforderungen und Gesamteinnahmen pro Periode betrachtet und nicht die Anzahl der Rechnungen, aus denen sie resultieren.

Über eine Vollerhebung oder eine Stichprobenauswahl wird der Gesamtbetrag der Ereignisse ermittelt. Die Betragsverteilung bestimmt sich dann durch diejenigen Ereignisse, die in den verschiedenen Perioden eintreten.¹⁾ In oben diskutiertem Beispiel ergibt sich die Verweilzeitverteilung durch die Division derjenigen Forderungsbeträge, die in den verschiedenen Perioden zu Deviseneinnahmen führen, durch die Summe der zur Ermittlung der Verteilung betrachteten Forderungsbeträge. Dabei spielen die Einzelbeträge der Rechnungen, aus denen sich der Gesamtforderungsbetrag zusammensetzt, keine Rolle mehr, vielmehr kann man sich den Gesamtbetrag aus lauter Elementen von 1 WE²⁾ zusammengesetzt denken. Die Quotienten, die sich für die verschiedenen Perioden des Erhebungszeitraumes berechnen, repräsentieren die Komponenten des Vektors, der unter der Voraussetzung, daß keine Nachlässe irgendwelcher Art gewährt werden, die Komponentensumme 1 haben muß. Werden jedoch z.B. Skonti gewährt und treten die im allgemeinen unvermeidbaren Forderungsausfälle ein, so führen nicht mehr alle Devisenforderungen zu Deviseneinnahmen, und die Komponentensumme des Vektors muß entsprechend der Einnahmefälle kleiner als 1 sein.

1) Zur Ermittlung von Betragsverteilungen vgl.: H. Langen, u.a., Unternehmensplanung, a.a.O., S. 27 f.; H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 300 ff.; R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 489 f.; R. Edin, Wirkungsweise, a.a.O., S. 745 f.; G. Kockelkorn, a.a.O., S. 86 f.

2) WE steht hier allgemein für Währungseinheiten und kann z.B. US-\$, Lire, £ usw. bedeuten, wofür die Aussagen gleichermaßen Gültigkeit besitzen.

Ohne diese Problematik zunächst noch weiter verfolgen zu wollen, sei hier nochmals eine bereits angedeutete Interpretations- und Ermittlungsmöglichkeit der Betragsverteilungen angesprochen. Danach ist es auch möglich, die Verweilzeitverteilungen als Wahrscheinlichkeitsverteilung aufzufassen.¹⁾ In diesem Fall werden über die Schätzung bedingter Wahrscheinlichkeiten²⁾ die Vektorkomponenten ermittelt. Solche Vorgehensweise erlaubt es, über die Prognosequalität Prinzipielles auszusagen: sofern der Prognosewert mit dem Erwartungswert des Output übereinstimmt, erreicht man mittels Betragsverteilungen unverzerrte Prognosewerte. "Hierzu ist es nur notwendig, die Rechnung durch das Umsatzelement zu ersetzen, das als eine Umsatz-DM³⁾ definiert ist. Der gesamte Perioden-

-
- 1) Zur wahrscheinlichkeitstheoretischen Interpretation der Verweilzeitverteilung vgl.: H. Schmitt, a.a.O., S. 25 und 27 ff.; L. Neumeyer, Zum Problem der Ermittlung von Liquidationsspektren und ihrer Stabilität im Zeitablauf, Diss., Mannheim 1966, S. 21 f.; R. Edin, Übergangsfunktionen in betriebswirtschaftlichen Systemen. In: ZfB 1969, S. 572 ff., im folgenden zitiert als "Übergangsfunktionen"; R. Edin, Systeme, a.a.O., S. 160 ff.
 - 2) Vgl.: E. Kreyszig, a.a.O., S. 65 ff.
 - 3) Entsprechend der dort behandelten Anwendung auf DM-Fakturierung ist das Prinzip ebenso auf ausländische Währungen übertragbar. Durch die Teilung der Umsatzbeträge in Elemente der Größenordnung 1 WE begeht man insofern einen Fehler, als die Stellen hinter dem Komma nicht berücksichtigt werden. So werden etwa die vollen Dollarbeträge erfaßt, evtl. Cent-Beträge werden im Kalkül jedoch übergangen. Der damit begangene Fehler dürfte jedoch gering sein, so daß diese Vorgehensweise gerechtfertigt erscheint. Eine Möglichkeit, diesen Fehler zu vermeiden, wäre dadurch gegeben, daß man immer in der kleinsten WE fakturiert, so z.B. in Cent. Dies führte wiederum zu entsprechend großen Zahlenwerten.

umsatz wird in eine Anzahl Umsatzelemente zerlegt, die alle den Betrag 1,-- DM aufweisen. Ohne Rücksicht darauf, welche bedingten Tilgungswahrscheinlichkeiten den einzelnen Umsatzelementen zukommen,..." ¹⁾ stellen die Prognosewerte den Erwartungswert der Einnahmen dar. Führt man auf dieser Basis die Schätzung der Tilgungswahrscheinlichkeiten durch, so kommt man zur gleichen Schätzfunktion für die Vektor-komponenten, wie bei der empirischen Untersuchung; ²⁾

$$s_i = \frac{f_i}{F}$$

s_i : Komponenten der Verweilzeitverteilung

f_i : Forderungsbetrag mit der Verweilzeit i

F : Gesamtforderungsbetrag der Vollerhebung bzw.
der Stichprobe

(Die Indizierung ist hier absichtlich einfacher gehalten und ist mit obiger nicht identisch)

Durch die wahrscheinlichkeitstheoretische Bestätigung der empirischen Schätzformel ist die Unverzerrtheit der Prognose gewährleistet, wodurch eine eventuelle Korrelation zwischen Input-Beträgen und der dazugehörigen Verweilzeitverteilung keine systematischen Fehler in der Prognose hervorruft. Andererseits wird dadurch die Notwendigkeit der stochastischen Unabhängigkeit der Verweilzeitverteilungen verschiedener Phasen gefordert, wenn diese

1) R. Edin, Übergangsfunktionen, a.a.O., S. 576

2) Auf die Darstellung der wahrscheinlichkeitstheoretischen Herleitung der Verteilungen soll verzichtet werden, da für den Anwendungsfall bei mehrgliedrigen und verzweigten Phasenfolgen in praxi dem Schätzverfahren der Vorzug gegeben wird. Vgl.: R. Edin, Übergangsfunktionen, a.a.O., S. 572 ff.; ders., Systeme, a.a.O., S. 160 ff.

durch einfache Faltung¹⁾ zu mehrgliedrigen Phasenfolgen zusammengefaßt werden sollen²⁾.

4323. Aufbereitung empirisch ermittelter Verweilzeitverteilungen

Bei der empirischen Ermittlung der Verweilzeitverteilungen können die Komponenten im Zeitablauf dermaßen verschiedene Werte annehmen, daß eine Gesetzmäßigkeit zwischen den Phasen relativ schwer erkennbar ist. (Siehe Abb. 4, S. 73)

In Abb. 4 ist als Beispiel eine Anzahl- und Betragsverteilung der Verweilzeiten zwischen Auftragseingängen und Warenausgängen wiedergegeben. "Neben der unregelmäßigen Gestalt der Verteilungen kommen auch deutlich die Unterschiede zwischen Anzahl- und Betragsverteilung zum Vorschein. Offensichtlich besteht eine positive Korrelation zwischen Auftragswert und Verweilzeit. Im ersten Drittel liegt die Anzahlverteilung wesentlich über der Betragsverteilung. In der zweiten Hälfte der Zeichnung kehrt sich diese Relation um. Das bedeutet aber gerade, daß Aufträge mit niedrigem Wert schnell, solche mit hohem Betrag langsam den Betrieb durchlaufen, ein Ergebnis, das eigentlich in den meisten Fällen zu erwarten ist, weil Auftragsgröße und Lieferzeit in Fertigungsbetrieben direkt proportional sind."³⁾

1) Vgl.: F. Weinberg, Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik sowie Anwendungen im Operations Research, Berlin/Heidelberg/New York 1968, S. 128 f.

2) Vgl. Abschnitt 433.

3) R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 490

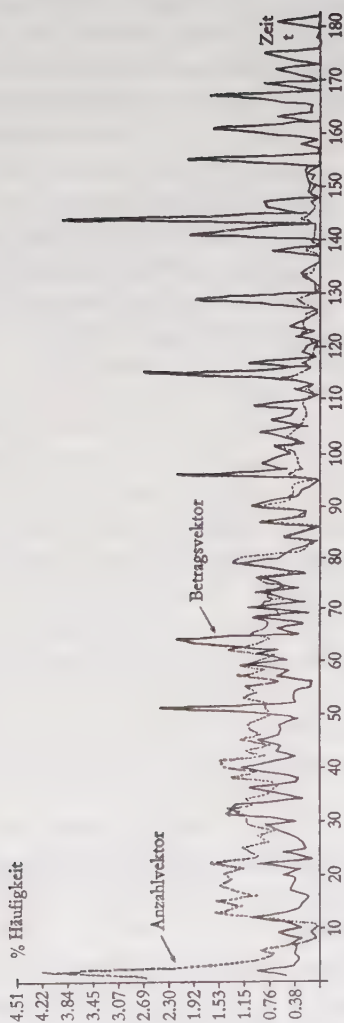


Abb. 4: Anzahl- und Betragsverteilungen zwischen
Auftragseingängen und Warenausgängen

Quelle: R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 491

Um aus solchen empirisch ermittelten Verteilungen dennoch eine Gesetzmäßigkeit ablesen zu können, können die Kurven geglättet werden, wodurch der prinzipielle Kurvenverlauf hervorgehoben wird. Mit Hilfe der deskriptiven Statistik werden dabei zunächst Verweilzeitklassen gebildet, woraus ein Histogramm abgeleitet werden kann.¹⁾ Dieses Histogramm kann nun durch eine Kurve angeglichen werden, indem die Fläche unter der Kurve gleich groß ist wie die des Histogramms, sowie das Integral der Kurve über den einzelnen Klassen der entsprechenden Rechtecksfläche äquivalent ist. Eine daraus entwickelte Kurve kann dann etwa folgendes Aussehen haben:

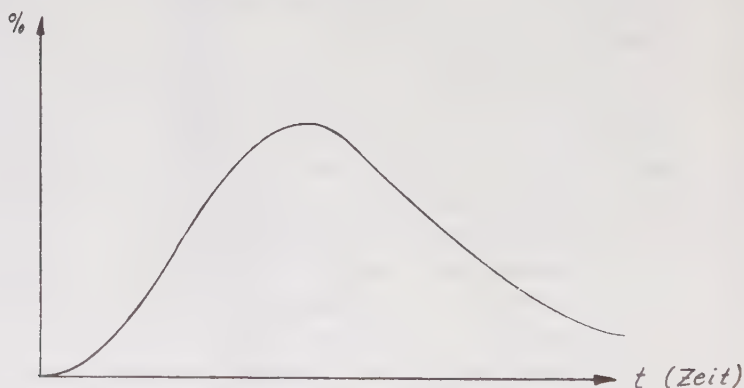


Abb. 5: Beispiel einer geglätteten Verweilzeitverteilung

Diese Kurve beschreibt den Zusammenhang zwischen zwei Phasen wesentlich anschaulicher, wodurch die Charakteristik der Verteilung leichter analysiert werden kann. "Die bisher

1) Vgl.: E. Kreyszig, a.a.O., S. 21 ff.; M. Spiegel, a.a.O., S. 27 ff. und 33 ff.

durchgeführten Untersuchungen haben jedoch (d.Verf.) gezeigt, daß das Glättungsverfahren und die anschließende Verwendung der geglätteten Kurve für Prognosen im allgemeinen nicht zur Verbesserung der Prognosequalität beiträgt,¹⁾ weswegen hier die Vorgehensweise nicht näher ausgeführt werden soll.²⁾

Wie jedoch aus Abb. 4 ersichtlich, sind in der empirisch ermittelten Verteilung Perioden enthalten, die eine sehr geringe Häufigkeit aufweisen und dabei die Länge des Vektors wesentlich ausdehnen, was einen entsprechend erhöhten Rechenaufwand mit sich bringt. "Wenn beispielsweise 95% der Forderungen im Durchschnitt nach längstens 60 Tagen getilgt und die restlichen 5% innerhalb weiterer 50 Tagen gezahlt werden, so tragen die Besetzungshäufigkeiten der Verweilzeiten von 61 bis zu 110 Tagen nur noch einen geringen Teil zu dem Prognosewert bei."³⁾ Unter Abwägung des Aufwandes und des Nutzens, den diese lange Verweilzeitverteilung mit sich bringt, könnte man versuchen, die Verweilzeitverteilung schon vorzeitig abubrechen (für das beschriebene Beispiel bei 95%) und die restlichen Forderungen zu vernachlässigen. Man müßte also für jede Verteilung einen Grenzwert definieren, der die Verteilung entsprechend ihrer speziellen Charakteristik kürzt. Dies hätte zur Folge, daß nicht alle Forderungen erfaßt würden, woraus sich im Zeitablauf eine durchschnittliche Unterschätzung der Deviseneinnahmen ergäbe. Naturgemäß wird jedoch die Häufigkeit von Forderungsausfällen bei langen Verweilzeiten relativ hoch sein, so daß der durchschnittliche Fehler dadurch etwas gemindert wird. Erschien es

1) H. Langen, u.a., Unternehmensplanung, a.a.O., S. 36

2) Die Vorgehensweise ist genauer beschrieben bei: H. Langen, u.a., Unternehmensplanung, a.a.O., S. 32 ff.; H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 302 ff.; R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 490 ff.

3) R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 493; vgl. ein Beispiel bei H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 303 ff.

z.B. sinnvoll, eine spezielle Verteilung bei 98% abzubrechen, und die durchschnittlichen Forderungsausfälle würden 2% betragen, so würden durch die Kürzung gerade die Forderungsausfälle kompensiert werden. Wie hoch der durch Kürzung entstehende Fehler ist, hängt also von den jeweils vorherrschenden Gegebenheiten ab. Wird dabei der Fehler als hoch empfunden, so ist es möglich, die gestutzte Verteilung wieder auf 100% oder einen anderen gewünschten Prozentsatz hochzurechnen, so daß in der Summe wieder alle Forderungen erfaßt werden. Ihre zeitliche Verteilung wird danach aber nicht mehr genau wiedergegeben, da durch die Kürzung zeitlich zurückliegende Forderungen gekappt und durch die Normierung diese Beträge "fälschlicherweise" früheren Perioden zugeordnet werden, so daß sich insgesamt eine Verschiebung der ursprünglichen Verteilung zugunsten früherer Termine ergibt.

Edin hat die Auswirkungen unzutreffender Verweilzeitverteilungen getestet und ist dabei zu dem Ergebnis gekommen: "Je stärker die Prognosespektren - ... - vom Durchschnittspektrum abweichen, desto weiter streuen die Prognosefehler und um so größer ist der mittlere Fehler. Daraus läßt sich folgern, daß geringe Unterschiede die Prognosequalität kaum beeinflussen."¹⁾ Unterstellt man, daß es sich bei der ungekürzten Verteilung um eine einwandfreie Wiedergabe der Realität handelt, so kann man bei der gekürzten und anschließend normierten Verteilung davon ausgehen, daß die Abweichungen gering sind, zumal sich die Prozentsätze der Kürzung in relativ engen Grenzen bewegen werden. Die Komponenten der normierten Verteilung errechnen sich dann folgendermaßen:

$$s_i = \frac{\bar{s}_i}{\bar{S}}$$

1) R. Edin, Wirkungsweise, a.a.O., S. 762

mit s_i : Komponenten der normierten Verteilung
 $\bar{s}_i$: Komponenten der gestutzten, aber noch
nicht normierten Verteilung
 $\bar{S}$: Summe der Komponenten der gestutzten, aber
noch nicht normierten Verteilung.

Nehmen wir an, oben gebildetes Beispiel (vgl. S. 53) sei
um die letzte Komponente zu kürzen, so ergibt sich noch
folgender gestutzter Vektor:

$$\bar{s}_i = (0,1; 0,2; 0,3; 0,3;) \text{ mit der Summe } \bar{S} = 0,9$$

Daraus errechnen sich die Komponenten des normierten
Vektors:

$$s_i = (0,1111; 0,2222; 0,3333; 0,3333)$$

mit der Summe $S = 0,9999$, wobei die Abweichung zu 1,0 wegen
eines Rundungsfehlers zustandekommt.

Nun kann es jedoch sein, daß die ursprüngliche Komponenten-
summe nicht - wie im angegebenen Beispiel - 1 beträgt, sondern
z.B. 0,98. Da hier von vornherein damit gerechnet wird, daß
z.B. nur 98% der Forderungen zu Einnahmen führen, muß dies
auch bei der normierten Verteilung zum Ausdruck kommen:

$$s_i = \frac{\bar{s}_i S^*}{\bar{S}}$$

wobei S^* = Komponentensumme der ungestutzten Verteilung ist.

In Abwandlung des Beispiels sei nun folgendes gegeben:

Ursprünglicher Vektor: $(0,1; 0,2; 0,3; 0,3; 0,08) \rightarrow S^* = 0,98$
gekürzter Vektor : $(0,1; 0,2; 0,3; 0,3) \rightarrow \bar{S} = 0,9$

Daraus errechnen sich die Komponenten des normierten Vektors:

$$s_i = (0,1088; 0,2178; 0,3267; 0,3267)$$

$$\text{mit } S = 0,9800$$

Ein wesentlicher Grund dafür, daß die Komponentensumme des ungekürzten Vektors kleiner als 1 ist, können neben den Forderungsausfällen auch Skontogewährungen sein (bezüglich der letzten Phasen). Bei Ausnutzung der Skontoabzüge durch einen Teil der Kundschaft führen nicht mehr alle Forderungen zu Einnahmen.

Die Vektoren, die bei einer Komponentensumme von 1 lediglich die zeitliche Verteilung des Input beschreiben, bekommen für $S < 1$ zusätzlich noch eine Multiplikatorfunktion, wodurch neben dem zeitlichen noch der quantitative Einfluß des Input auf den Output beschrieben wird.¹⁾ "Umgekehrt kann die Summe der Vektorkomponenten auch größer als 1 sein, und zwar für den Fall der Berechnung von Verzugszinsen."²⁾

Damit ist die prinzipielle Vorgehensweise bei der Ermittlung der Verweilzeitverteilungen aufgezeigt. Je nach Anwendungsfall können sich noch weitere Probleme ergeben, die dann in der Gesamtkonzeption zu berücksichtigen sind. So kann ein Unternehmen verschiedenen Kundengruppen unterschiedliche Zahlungsbedingungen einräumen, die dann das Liquidationsspektrum ihrerseits beeinflussen und somit eine kundengruppenspezifische Ermittlung mehrerer Spektren erforderlich machen. Außerdem können sich Großkunden aufgrund der geschäftlichen Abhängigkeit in gewissen Grenzen ihre eigenen Konditionen erzwingen, so daß sie mit dem sonstigen Kundenkreis nicht mehr zusammen erfaßt werden können. Weiterhin wird es für den hier behandelten Anwendungsfall - wie bereits erwähnt - sicher notwendig sein, zumindest für jedes Währungsgebiet eigene Spektren zu entwickeln.

1) Zur Interpretation der Vektoren als Multiplikatoren vgl.: S. Pöninghaus, Betriebswirtschaftliche Multiplikatoren, In: ZfbF 1967, S. 659 ff.
Auch bei der wahrscheinlichkeitstheoretischen Interpretation der Verweilzeitverteilungen lassen sich Skontoabzüge rechnerisch erfassen. Vgl.: R. Edin, Übergangsfunktion, a.a.O., S. 576 f.

2) H. Langen, Grundzüge, a.a.O., S. 74

Bevor jedoch die verschiedenen Spektren zu dem beschriebenen Phasenschema (vgl. S. 46) zusammengefügt werden können, sind die Grundprobleme und die Vorgehensweise bei der Bildung mehrgliedriger Phasenfolgen zu betrachten.

433. Die Bildung mehrgliedriger Phasenfolgen

4331. Die Ermittlung geradliniger Phasenfolgen

Bisher wurde lediglich versucht, den Zusammenhang zwischen einem Inputereignis und dem unmittelbar nachgelagerten Outputereignis herzustellen, wobei beispielhaft der Übergang Devisenforderungen/Deviseneinnahmen herausgegriffen wurde. Es liegt nun nahe zu untersuchen, ob zwischen den anderen Phasen prinzipiell gleiche Übergangsfunktionen definiert werden können, und ob diese auch zwischen nicht unmittelbar aufeinanderfolgenden Phasen existieren. Allein aus der zeitlichen Sequenz ergibt sich, daß der Gesamtprognosezeitraum umso länger ist, je früher man den Output der letzten Phase bestimmen kann. Im günstigsten Fall bedeutet dies also, daß von dem Input der ersten Phase ausgehend unmittelbar der Output der letzten Phase berechnet werden kann.

Sind alle Phasen einer Phasenfolge durch Verweilzeitverteilungen verbunden, und ist das Outputereignis einer vorgelagerten Phase mit dem Inputereignis der unmittelbar nachgelagerten Phase identisch, so lassen sich die einzelnen Phasen zu einer mehrgliedrigen Kette zusammenfügen, die die gewünschte Prognosemöglichkeit eröffnet. Die Vorgehensweise soll anhand der Phasenfolge zur Prognose der Deviseneinnahmen demonstriert werden:

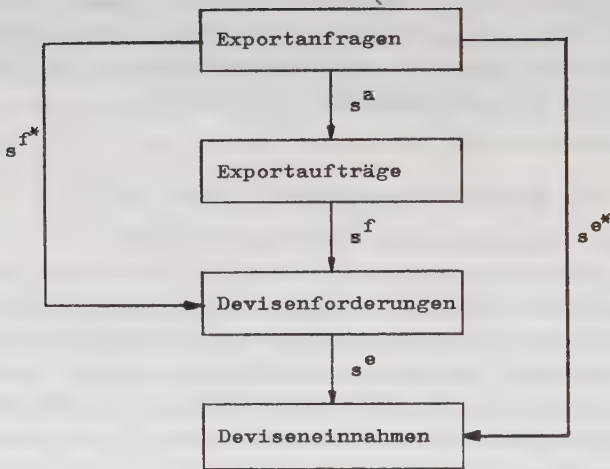


Abb. 6: Die Schätzung der Deviseneinnahmen aus den Exportanfragen

Wie aus den die Vektoren symbolisierenden Pfeilen hervorgeht, bieten sich zwei Möglichkeiten zur Schätzung der Deviseneinnahmen an, wobei die Vektoren s^a , s^f und s^e als bekannt vorausgesetzt werden:¹⁾

- 1) Stufenweise können von den Exportanfragen ausgehend zunächst die Exportaufträge, dann die Devisenforderungen und schließlich die Deviseneinnahmen prognostiziert werden. Die Prognosewerte der einen Phase dienen also als Ausgangsgröße für die Prognose der nächsten Phase.

1) Zu der beschriebenen Vorgehensweise vgl.: H. Langen, u.a., Unternehmensplanung, a.a.O., S. 72 ff.; R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 502. Der Zeitindex und der Währungsindex sind bei der Bezeichnung der Vektoren weggelassen. Zwischen den Exportaufträgen und den Deviseneinnahmen ließe sich ein weiterer Vektor einfügen, auf den hier jedoch verzichtet werden soll. Die Indizierung dieser Vektoren ist der Übersichtlichkeit halber sehr anschaulich und einfach gehalten. Die umfassenden Bezeichnungen werden in Abschnitt 442. vorgestellt.

- 2) Andererseits kann von den Exportanfragen ausgehend unmittelbar auf die Deviseneinnahmen (dargestellt durch s^{e*}) bzw. auch auf die Devisenforderung (entsprechend s^{f*}) - sofern hier ein Prognosebedürfnis besteht - geschlossen werden. Dabei sind wiederum zwei Wege gangbar:
- a) die direkten Vektoren s^{f*} und s^{e*} können aus den ihnen zugrundeliegenden Einzelvektoren rechnerisch ermittelt werden;
 - b) die direkten Vektoren können als Einphasenvektoren aufgefaßt werden und empirisch, entsprechend oben beschriebener Vorgehensweise ermittelt werden.

Welches Verfahren im konkreten Einzelfall angewandt wird, hängt von dem zugrundeliegenden Datenmaterial, dem Zweck und der Aufgabe sowie der Gesamtkonzeption des Prognosemodells ab. Um für den konkreten Anwendungsfall die günstigste Alternative auswählen zu können, sind die verschiedenen Verfahrensweisen zunächst gegeneinander abzugrenzen. Die in Abschnitt 42. beschriebene Vorgehensweise scheint zunächst das unter 1) vorgestellte Verfahren zu verlangen, da dann die Outputgrößen sämtlicher Phasen vorliegen, und die Überwachungs- und Revisionsmöglichkeiten existieren. Zur Erklärung des Prinzips dieser Prognosemethode scheint diese Vorgehensweise am besten geeignet zu sein, weswegen sie am Anfang direkt übernommen wurde. Da die anderen Verfahren die grundsätzlich gleichen Möglichkeiten eröffnen, soll die vorgestellte Methodik dennoch zur Diskussion gestellt werden.

Den Zusammenhang zwischen mehreren Phasen hat Langen zunächst mit Hilfe von Mehrfachsummen beschrieben, was jedoch zu einer wenig übersichtlichen Darstellungsweise

führte.¹⁾ Von Pönninghaus²⁾ wurde dieser Ansatz weiterentwickelt und auf Matrixschreibweise übertragen, die neben der größeren Übersichtlichkeit den Vorteil des gleichen Rechenformalismus aufweist.

Dabei wird aus dem ersten Vektor - in unserem Fall s^a - eine Matrix gebildet, deren Spaltenzahl mit der Anzahl der Vektorkomponenten des zweiten Vektors (s^f) übereinstimmen muß. Durch diese Umformulierung wird es möglich, die neugebildete Matrix mit dem zweiten Vektor zu multiplizieren, wodurch der "gemeinsame" Vektor (s^{f*}) errechnet wird. Aus diesem Vektor wird analog eine Matrix entwickelt, wobei deren Spaltenzahl der Komponentenzahl des dritten Vektors (s^e) entsprechen muß. Durch erneute Multiplikation dieser Matrix mit dem dritten Vektor entsteht schließlich der Gesamtvektor s^{e*} . Die Vorgehensweise wird für die drei Vektoren der "Einnahmenseite" allgemein dargestellt, wobei für die Vektoren folgende Komponentenzahlen angenommen werden³⁾.

$$s^a' = (s_0^a; s_1^a; s_2^a)$$

$$s^f' = (s_0^f; s_1^f; s_2^f; s_3^f)$$

$$s^e' = (s_0^e; s_1^e; s_2^e; s_3^e)$$

Da der zweite Vektor vier Komponenten aufweist, ist der erste Vektor zunächst in eine Matrix mit vier Spalten zu transformieren:

1) Auf die Darstellung der Summenformel soll hier verzichtet werden, vgl. H. Langen, Betr. Zahlungsströme, a.a.O., S. 267

2) S. Pönninghaus, a.a.O., S. 666 ff.

3) Die Indizes für die Währungen werden weggelassen.

$$s^a = \begin{bmatrix} s_0^a & 0 & 0 & 0 \\ s_1^a & s_0^a & 0 & 0 \\ s_2^a & s_1^a & s_0^a & 0 \\ 0 & s_2^a & s_1^a & s_0^a \\ 0 & 0 & s_2^a & s_1^a \\ 0 & 0 & 0 & s_2^a \end{bmatrix}$$

Durch Multiplikation mit s^f errechnet sich zunächst:

$$s^{f*} = \begin{bmatrix} s_0^a & 0 & 0 & 0 \\ s_1^a & s_0^a & 0 & 0 \\ s_2^a & s_1^a & s_0^a & 0 \\ 0 & s_2^a & s_1^a & s_0^a \\ 0 & 0 & s_2^a & s_1^a \\ 0 & 0 & 0 & s_2^a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_0^f \\ s_1^f \\ s_2^f \\ s_3^f \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} s_0^a \cdot s_0^f & 0 & 0 & 0 \\ s_1^a \cdot s_0^f + s_0^a \cdot s_1^f & 0 & 0 \\ s_2^a \cdot s_0^f + s_1^a \cdot s_1^f + s_0^a \cdot s_2^f & 0 \\ 0 & s_2^a \cdot s_1^f + s_1^a \cdot s_2^f + s_0^a \cdot s_3^f \\ 0 & 0 & s_2^a \cdot s_2^f + s_1^a \cdot s_3^f \\ 0 & 0 & 0 & s_2^a \cdot s_3^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_0^{f*} \\ s_1^{f*} \\ s_2^{f*} \\ s_3^{f*} \\ s_4^{f*} \\ s_5^{f*} \end{bmatrix}$$

Dieser Vektor ist wegen der Komponentenzahl von s^e wieder in eine Matrix mit vier Spalten umzuformen. Durch Multiplikation mit s^e ergibt sich:

$$s e^* = \begin{bmatrix} s_0^* & 0 & 0 & 0 \\ s_1^* & s_0^* & 0 & 0 \\ s_2^* & s_1^* & s_0^* & 0 \\ s_3^* & s_2^* & s_1^* & s_0^* \\ s_4^* & s_3^* & s_2^* & s_1^* \\ s_5^* & s_4^* & s_3^* & s_2^* \\ 0 & s_5^* & s_4^* & s_3^* \\ 0 & 0 & s_5^* & s_4^* \\ 0 & 0 & 0 & s_5^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_0^e \\ s_1^e \\ s_2^e \\ s_3^e \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} s_0^* \\ s_1^* \\ s_2^* \\ s_3^* \\ s_4^* \\ s_5^* \\ s_6^* \\ s_7^* \\ s_8^* \end{bmatrix}$$

Bei der Verknüpfung der Vektoren wurde dabei nur von den Vektorkomponenten ohne Berücksichtigung der Werte für Exportanfragen, -aufträge, Devisenforderungen und -ein-

nahmen ausgegangen. Setzt man diese Werte ein und berechnet zunächst die Prognose für die Exportaufträge, davon ausgehend durch Multiplikation mit s^f die Devisenforderungsbeträge und schließlich durch Multiplikation mit s^e die Deviseneinnahmen, so ergibt sich, daß die Beträge der Exportanfragen genau mit den oben errechneten Komponenten multipliziert werden, um die Deviseneinnahmen zu prognostizieren. Auf die Herleitung dieser Aussage soll hier verzichtet werden; ¹⁾ sie beweist die Identität der Verfahren : Prognose aus Prognose und Prognose mittels Gesamtvektor, der aus den Einzelvektoren in oben beschriebener Weise errechnet wird. Die Methoden 1 und 2a führen also zu denselben Ergebnissen.

Die Methode der Verknüpfung von Vektoren kann entsprechend verallgemeinert werden, so daß für beliebig viele Phasen und Vektorkomponenten die Gesamtvektoren, die den unmittelbaren Zusammenhang zwischen erster und letzter Phase beschreiben, errechnet werden können. Durch Verallgemeinerung der Indizierung (z.B. durch die Bezeichnung der Phasenfolge durch eine Ziffernfolge) kann ein allgemeines Bildungsgesetz abgeleitet werden, das die Vektoren beliebiger Phasen beschreibt. Da dies für die zu untersuchende Phasenfolge nicht notwendig ist, soll auf die Beschreibung verzichtet werden. ²⁾ Die Anzahl der Vektorkomponenten für die neugebildeten Verteilungen errechnet sich dabei nach Formel: ³⁾

$$z'^* = (z_1 + z_2 + z_3 + \dots + z_v) - v + 1$$

wobei v die Anzahl der zu verknüpfenden Vektoren angibt,

1) Ein Beweis dieser Aussage ist wiedergegeben bei H. Langen, Betriebsprozeß, a.a.O., S. 870; R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 503 f.

2) Vgl.: H. Langen, Betriebsprozeß, a.a.O., S. 871 ff.

3) Vgl.: S. Pönningshaus, a.a.O., S. 667 f.

und $z_1, \dots, z_v$ deren Komponentenzahl beschreibt. Für obiges Beispiel errechnet sich die Anzahl der Komponenten für s^{e*} :

$$(3 + 4 + 4) - 3 + 1 = 9$$

was durch die Komponenten $s_0^{e*}, \dots, s_8^{e*}$ bewiesen ist.

Anhand eines Zahlenbeispiels soll die Verknüpfungsmethode nochmals verdeutlicht werden. Unter Beibehaltung der oben angenommenen Komponentenzahlen, werden dabei folgende Zahlenwerte gewählt:

$$s^{a'} = (0,03; 0,04 \quad 0,03)$$

$$s^{f'} = (0,2; 0,1; 0,4; 0,3)$$

$$s^{e'} = (0,2; 0,4; 0,2; 0,2)$$

Dabei fällt auf, daß im Gegensatz zu $s^{e'}$ und $s^{f'}$ die Komponentensumme von $s^{a'}$ nicht = 1, sondern nur 0,1 beträgt. Dadurch wird der durchaus realistischen Annahme Rechnung getragen, daß nicht alle Kundenanfragen notwendigerweise zu Aufträgen führen müssen. In diesem Fall wird davon ausgegangen, daß wertmäßig nur 10% der Kundenanfragen zu Exportaufträgen führen. Unter der getroffenen Annahme, daß die restlichen Vektorenkomponentensummen = 1 sind, bedeutet dies auch, daß betragsmäßig nur 10% der Exportanfragen zu Deviseneinnahmen werden. Der erste Vektor beschreibt also neben der zeitlichen Verteilung auch den quantitativen Zusammenhang zwischen erster und letzter Phase. Wie oben bereits dargelegt, handelt es sich um einen Multiplikator - in diesem Fall - mit dem Wert 0,1. Der quantitative Gesamtzusammenhang errechnet sich also:

$$0,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,1$$

oder allgemein für q verschiedene Vektoren

$$W = s_1 \cdot s_2 \cdot \dots \cdot s_q$$

$S_1, \dots, S_q$ symbolisieren die Komponentensummen der Vektoren 1 bis q , W ist der Gesamtübertragungsfaktor.

Die zu verknüpfenden Vektoren errechnen sich nun folgendermaßen:

$$s^f = \begin{bmatrix} 0,03 & 0 & 0 & 0 \\ 0,04 & 0,03 & 0 & 0 \\ 0,03 & 0,04 & 0,03 & 0 \\ 0 & 0,03 & 0,04 & 0,03 \\ 0 & 0 & 0,03 & 0,04 \\ 0 & 0 & 0 & 0,03 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,1 \\ 0,4 \\ 0,3 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 0,03 \cdot 0,2 & 0 & 0 & 0 \\ 0,04 \cdot 0,2 + 0,03 \cdot 0,1 & 0 & 0 \\ 0,03 \cdot 0,2 + 0,04 \cdot 0,1 + 0,03 \cdot 0,4 & 0 \\ 0 & 0,03 \cdot 0,1 + 0,04 \cdot 0,4 + 0,03 \cdot 0,3 \\ 0 & 0 & 0,03 \cdot 0,4 + 0,04 \cdot 0,3 \\ 0 & 0 & 0 & 0,03 \cdot 0,3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,006 \\ 0,011 \\ 0,022 \\ 0,028 \\ 0,024 \\ 0,009 \end{bmatrix}$$

Daraus ergibt sich s^{e*} :

$$s^{e*} = \begin{bmatrix} 0,006 & 0 & 0 & 0 \\ 0,011 & 0,006 & 0 & 0 \\ 0,022 & 0,011 & 0,006 & 0 \\ 0,028 & 0,022 & 0,011 & 0,006 \\ 0,024 & 0,028 & 0,022 & 0,011 \\ 0,009 & 0,024 & 0,028 & 0,022 \\ 0 & 0,009 & 0,024 & 0,028 \\ 0 & 0 & 0,009 & 0,024 \\ 0 & 0 & 0 & 0,009 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,4 \\ 0,2 \\ 0,2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0012 \\ 0,0046 \\ 0,0100 \\ 0,0178 \\ 0,0226 \\ 0,0214 \\ 0,0140 \\ 0,0066 \\ 0,0018 \end{bmatrix}$$

Auf diese Weise sind die Vektoren miteinander verknüpft, so daß nun unmittelbar von den Exportanfragen auf die Devisenforderungen bzw. -einnahmen geschlossen werden kann. Die Komponentensumme der neugebildeten Vektoren ist jeweils 0,1, wodurch die Multiplikatorwirkung ausgedrückt wird.

Nachdem die Identität der beiden Verknüpfungsmethoden 1 und 2a erwiesen ist, sind die Verfahren noch mit der empirischen Ermittlung der Gesamtvektoren zu vergleichen (2b). Eine Identität dieser Verfahren kann nicht erwartet werden, da die Ermittlungsprinzipien schon verschieden sind. Jedoch sollten sich die errechneten und die empirisch ermittelten Verteilungen im wesentlichen entsprechen, da sonst die errechneten Vektoren zu falschen Ergebnissen führen werden.

Bei der beschriebenen Verknüpfungsmethode handelt es sich um eine Faltungsoperation für die Verteilungen, so daß die neugebildeten Verteilungen als Faltungsprodukte der einzelnen Verteilungen geschrieben werden können:¹⁾

$$s^{e*} = s^a * s^f * s^e$$

Wie an früheren Stellen schon dargelegt, können die Verweilzeitverteilungen als Wahrscheinlichkeitsverteilungen interpretiert werden, die die Tilungswahrscheinlichkeiten der 1 WE-Größen angeben.²⁾ Dies hat zur Folge, daß die Faltungsprodukte nur dann zum richtigen Ergebnis führen, wenn die Verweilzeiten voneinander unabhängig sind.³⁾

1) Die Faltungsprodukte werden in der angegebenen Form gekennzeichnet. Bezüglich der mathematischen Anwendung schreibt F. Weinberg, a.a.O., S. 128: "Die Faltungsoperation ist also kommutativ und, wie man leicht überlegen kann, auch assoziativ, da die ihr entsprechende Operation der Summation von Zufallsvariablen diese Eigenschaften ebenfalls aufweist." Dies bedeutet, daß die Matrizen in beliebiger Reihenfolge zusammengefaßt werden können, so daß zunächst mit der kleinsten Anzahl von Spalten gerechnet werden kann.

2) Vgl.: Abschnitt 431.

3) Vgl.: F. Weinberg, a.a.O., S. 134 f.; E. Kreyszig, a.a.O., S. 148; A. Renyi, Wahrscheinlichkeitsrechnung, 2. Aufl., Berlin 1966, S. 84

Ist dies nicht der Fall, so können die Verteilungen nicht in obiger Weise verknüpft werden, sondern sind mittels bedingter Wahrscheinlichkeitsverteilungen oder der Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten zu ermitteln.¹⁾

Inwieweit die Verweilzeitverteilungen für die gesamte Phasenfolge je nach Ermittlungsmethode (1 bzw. 2a oder 2b) voneinander abweichen können, wird durch folgendes fiktives Zahlenbeispiel demonstriert. Dabei sei von nachstehender Situation bei einem Fertigungsbetrieb ausgegangen: Wegen sehr hoher Lagerkosten, die wegen der spezifischen Produktart nicht vermindert werden können, versucht der Betrieb, die Lagerhaltung möglichst gering zu halten und fertigt daher weitgehend auftragsgebunden.²⁾ Um keine zu langen Lieferzeiten zu erhalten, wird mit der Fertigung bereits aufgrund geschätzter Exportaufträge begonnen, d.h. also auf der Basis der eingehenden Kundenanfragen. Ergibt sich nun nach eingehender Kundenanfrage sehr schnell ein Exportauftrag - im Extremfall am gleichen Tag - ist mit der Fertigung der entsprechenden Produkte noch nicht begonnen worden, und die Zeitspanne zwischen Auftragseingang und Forderungsentstehung wird relativ lang sein, was durch eine entsprechend lange Verweilzeit zum Ausdruck kommt. Anders verhält es sich bei Anfragen, die erst relativ spät zu Aufträgen führen. Hier kann angenommen werden, daß aufgrund von Vorfertigungen die "innerbetriebliche" Verweilzeit relativ kurz sein wird. In ähnlicher Weise ist auch ein Zusammenhang bei den Verweilzeiten der beiden nächsten Phasen denkbar. Durch eine

1) Vgl.: R. Edin, Übergangsfunktionen, a.a.O., S. 589

2) Bei der auftragsgebundenen Fertigung geht der Anlaß zu fertigen von einem Kundenauftrag aus. Demgegenüber wird bei der lagergebundenen Fertigung auf ein Fertigwarenlager produziert, wobei die Produktion durch den Lagerbestand gesteuert wird. Daneben lassen sich noch weitere Fertigungsverfahren unterscheiden, die teilweise stark von der technischen Seite geprägt sind. Vgl.: R. Wittgen, Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, München 1974, S. 166 ff., im folgenden zitiert als "BWL".

relativ lange Verweilzeit zwischen der Auftragserteilung und der Forderungsentstehung hat der Kunde viel Zeit, die Bezahlung der Ware liquiditätsmäßig zu planen, und er kann daher die Forderung relativ schnell begleichen. Dies wird umso mehr der Fall sein, als die Möglichkeit von Skontoabzügen besteht, was im nachfolgenden Beispiel allerdings nicht berücksichtigt ist. Umgekehrt kann es sich bei sehr kurzer Lieferzeit verhalten, da hier der Kunde aus liquiditätsmäßigen Gründen evtl. nicht schon kurze Zeit nach Forderungsentstehung bezahlen kann, so daß eine relativ kurze Verweilzeit zwischen Aufträgen und Forderungen eine entsprechend lange Verweilzeit bei den Deviseneinnahmen hervorruft.

Bei diesem extrem gewählten Sachverhalt wird eine gegenseitige Abhängigkeit der Verweilzeitverteilungen eindeutig sichtbar, was zu einer erheblichen Divergenz zwischen rechnerisch und empirisch ermittelter Gesamtverweilzeit führen wird. Dabei sei angenommen, daß - entsprechend obigem Multiplikatorwert - von 100 eingegangenen Exportanfragen 10 zu einem Exportauftrag führen, wodurch entsprechende Devisenforderungen und -einnahmen begründet werden. Die Verweilzeiten werden wie folgt gewählt, wobei der beschriebene Sachverhalt sehr deutlich zum Ausdruck kommt:

Verweilzeiten	Exportanfragen										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...100
v^a	0	1	0	2	1	2	0	1	2	1	$\infty^{1)}$
v^f	3	2	3	0	2	0	3	2	1	2	
v^e	0	1	0	3	1	3	1	2	2	1	
$\bar{v}^{e*}$	3	4	3	5	4	5	4	5	5	4	

Tab. 2: Verweilzeiten der verschiedenen Phasenübergänge zur Schätzung der Deviseneinnahmen

1) Rein formal wird hier ∞ eingetragen, wobei die Anfragen eben nie zu Exportaufträgen führen werden.

Entsprechend oben gewählter Indizierung bedeutet:

v^a = Verweilzeiten zwischen Exportanfragen und Exportaufträgen

v^f = Verweilzeiten zwischen Exportaufträgen und Devisenforderungen

v^e = Verweilzeiten zwischen Devisenforderungen und Deviseneinnahmen

$\bar{v}^{e*}$ = Verweilzeiten zwischen Exportanfragen und Deviseneinnahmen ($\bar{v}^{e*} = v^a + v^f + v^e$)

Die Ziffern geben die Anzahl der Perioden an, die pro Anfrage und Phase durch die Verweilzeit erfaßt werden, und bezeichnen damit Häufigkeiten, die aus einer exakten Schätzung der Wahrscheinlichkeiten resultieren mögen.¹⁾

Bildet man bei den einzelnen Verweilzeiten die relativen Häufigkeiten, so ergeben sich die Verweilzeitverteilungen, die statistisch den Randverteilungen²⁾ einer dreidimensionalen Verteilung entsprechen:

$$s^{a'} = (0,03; 0,04; 0,03)$$

$$s^{f'} = (0,2; 0,1; 0,4; 0,3)$$

$$s^{e'} = (0,2; 0,4; 0,2; 0,2)$$

Wie man sich leicht überzeugen kann, ist das Beispiel so gewählt, daß die Vektoren mit denen im Beispiel zur rechnerischen Ermittlung der Gesamtvektoren durch einfache Faltung benutzten identisch sind (Vgl. S. 86). Dabei ergab sich der Gesamtvektor:

$$s^{e'*} = (0,0012; 0,0046; 0,01; 0,0178; 0,0226; \\ 0,0214; 0,014; 0,0066; 0,0018)$$

1) Vgl.: R. Edin, Übergangsfunktionen, a.a.O., S. 590

2) Vgl.: E. Kreyszig, a.a.O., S. 144 ff.; F. Weinberg, a.a.O., S. 53 f.

Bildet man entsprechend obiger Vorgehensweise die relativen Häufigkeiten bei den Verweilzeiten für $\bar{v}^{\theta*}$, so ergibt sich jedoch folgende Verteilung, die der Ermittlung mittels bedingter Wahrscheinlichkeiten¹⁾ entspricht:

$$\bar{s}^{\theta*} = (0; 0; 0; 0,02; 0,04; 0,04)$$

Wie man sieht, weichen die beiden Verteilungen erheblich voneinander ab, was auf die Abhängigkeit der Verweilzeiten zurückzuführen ist. Die durch Faltung errechnete Gesamtverteilung führt in diesem Fall zu einem falschen Ergebnis. Die Ermittlung der Verweilzeitverteilungen durch einfache Faltung liefert also nur für den Fall der Unabhängigkeit der Verweilzeiten das richtige und damit im wesentlichen gleiche Ergebnis wie die empirische Ermittlung der Gesamtverteilung (Methode 2b).

"Da sich ein allgemeines Phasenmodell des Betriebsablaufs nicht auf den Spezialfall insgesamt unabhängiger²⁾ Verweilzeiten beschränken darf, muß sich die Ableitung von Verweilzeitverteilungen, die über eine oder mehrere Phasen hinweg direkt vermitteln soll, auf die bedingten Wahrscheinlichkeitsverteilungen stützen".³⁾ Um die bedingten Wahrscheinlichkeiten ermitteln zu können, ist jedoch zunächst die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Verweilzeit etwa mit der Maximum-Likelihood-Methode⁴⁾ zu schätzen, was in praxi

-
- 1) Vgl.: E. Kreyszig, a.a.O., S. 65 ff.; Auf die Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeiten für die dreidimensionale Verteilung soll hier verzichtet werden, da in praxi das empirische Schätzverfahren vorzuziehen ist. Ein Beispiel für die Berechnung einer zweidimensionalen Verteilung ist bei R. Edin, Übergangsfunktionen, a.a.O., S. 590 f. wiedergegeben.
 - 2) Zum Begriff "insgesamt unabhängig" siehe B. Gnedenko, Lehrbuch der Wahrscheinlichkeitsrechnung, 3. Aufl., Berlin 1962, S. 49 f. zitiert bei R. Edin, Übergangsfunktionen, a.a.O., S. 592
 - 3) R. Edin, Übergangsfunktionen, a.a.O., S. 592
 - 4) Vgl.: E. Kreyszig, a.a.O., S. 177 ff.; A. Mood und F. Graybill, Introduction to the Theory of Statistics, 2 nd Edition, New York, u.a., 1963, S. 185

zu einem hohen Rechenaufwand führen kann. "In der praktischen Anwendung wird man das Schätzverfahren der rechnerischen Herleitung vorziehen, da es ohne die Schätzung der gemeinsamen Wahrscheinlichkeitsverteilung und die Berechnung der bedingten Verteilungen auskommt."¹⁾

Man wird also die direkten Verweilzeitverteilungen unmittelbar aus dem empirischen Datenmaterial herleiten, da bei der Ermittlung der direkten Verweilzeitverteilungen durch Faltung die Prämisse der Unabhängigkeit erfüllt sein muß, und bei der Berechnung mittels bedingter Wahrscheinlichkeiten das Schätzproblem hinzukommt.

4332. Spezielle Strukturen mehrgliedriger Phasenfolgen

In den bisherigen Ausführungen wurde lediglich auf eingliedrige und deren Zusammenfassung zu mehrgliedrigen Phasenfolgen eingegangen, wobei die mehrgliedrige Kette durch die direkte Hintereinanderschaltung eingliedriger Phasenübergänge entstand. Wie wir aber anhand Abb. 3 auf Seite 46 sehen, stellen die Exportaufträge in bezug auf einen Fertigungsbetrieb sowohl für die Prognose der Devisenforderungen als auch zur Ermittlung der Importbestellungen die Input-Größen dar. Letztlich bewirkt dies, daß die Devisenausgaben sowohl von den Exportanfragen als auch von den Inlandsanfragen determiniert werden. Wirkt eine Phase auf mehr als eine nachgelagerte Phase ein, so spricht man von einer verzweigten Phasenfolge.²⁾

Das Spezifikum der verzweigten Phasenfolge liegt darin, daß wenigstens eine Phase durch mindestens zwei gleichgerichtete Verweilzeitverteilungen mit anderen Phasen

1) R. Edin, Systeme, a.a.O., S. 188

2) Vgl.: H. Langen, Betriebsprozeß, a.a.O., S. 878; ders., Grundzüge, a.a.O., S. 78; ders., Betr. Zahlungsströme, a.a.O., S. 271 ff.

verbunden ist. Dabei werden die Verteilungen in aller Regel auch verschieden sein, da kaum anzunehmen ist, daß zu diesen parallelen Phasen genau die gleichen zeitlichen und quantitativen Zusammenhänge bestehen. So werden in unserem Beispiel die Exportaufträge ungefähr den gleichen Betrag an Devisenforderungen bewirken, jedoch sicher nicht zu wertmäßig ähnlich hohen Importbestellungen führen, da sonst der Betrieb sicher mit Verlust arbeiten würde. Das heißt, der Vektor, der die Exportaufträge mit den Importbestellungen verbindet, wird eine Komponentensumme besitzen, die wesentlich kleiner als 1 sein wird. Dies muß jedoch nicht in jedem Fall so sein, da andere Anwendungsgebiete eventuell gegenteilige Wirkungen hervorrufen. Zur Demonstration solcher Zusammenhänge soll ein Beispiel von Pönninghaus dienen¹⁾: Ein Großversandhaus, das neben der Versandzentrale noch Filialbetriebe in größeren Städten besitzt, möchte den Einfluß der Radiowerbung für eine bestimmte Artikelgruppe ermitteln. "Spektralvektoren mögen existieren:

- a) zwischen dem DM-Wert der Werbesendung eines Intervalls und den daraus resultierenden Kataloganforderungen von seiten potentieller Kunden. Maßgröße einer Kataloganforderung seien die Kosten eines Katalogs;
- b) zwischen den Werbesendungen und dem DM-Wert der daraufhin eingehenden direkten Bestellungen (diese Bestellungen gingen ohne Bestellnummer aus dem Katalog ein);
- c) zwischen den Werbesendungen und den dadurch hervorgerufenen Barverkäufen der Artikelgruppe in den Filialbetrieben."²⁾

1) Vgl.: S. Pönninghaus, a.a.O., S. 668 f.

2) S. Pönninghaus, a.a.O., S. 668

In diesem Fall sind also drei Phasen von der Input-Größe Radiowerbung abhängig:



Abb. 7: Beispiel einer einstufigen verzweigten Phasenfolge

Die Werbeaktion des Versandhauses kann aber nur dann einen Sinn haben, wenn die Bareinnahmen, die Bestellungen (bei diesen beiden Phasen wird es besonders deutlich) und auch die Kataloganforderungen den DM-Wert der Werbesendung bei weitem übersteigen. Nur so können die Kosten der Sendung aufgefangen werden. Dies bedeutet, daß die Komponentensummen der Vektoren in diesem Fall größer als 1 sein müssen. Pönninghaus geht von folgenden Werten aus:

$$s_{10} = \begin{bmatrix} 4,0 \\ 6,0 \\ 5,0 \\ 3,0 \\ 2,0 \end{bmatrix} \quad s_{11} = \begin{bmatrix} 0,9 \\ 1,5 \\ 0,6 \end{bmatrix} \quad s_{12} = \begin{bmatrix} 1,2 \\ 0,8 \end{bmatrix}$$

Man sieht, daß die Komponentensummen deutlich größer als 1 sind, außerdem spiegelt sich in der quantitativen Aufteilung zwischen den drei Reaktionsmöglichkeiten der Kundschaft die Besonderheit des Versandhausgeschäfts wider, wo der Barverkauf eine relativ geringere Rolle spielt.

Die drei Vektoren lassen sich noch zu einer Matrix zusammenfassen, die den Gesamtzusammenhang zwischen der

Radiowerbung und den ihr nachgelagerten Phasen beschreibt:

$$s_{13} = \begin{bmatrix} 4,0 & 0,9 & 1,2 \\ 6,0 & 1,5 & 0,8 \\ 5,0 & 0,6 & 0 \\ 3,0 & 0 & 0 \\ 2,0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Einfache Phasenfolgen lassen sich grundsätzlich zu verzweigten Phasenfolgen erweitern, ohne die prinzipielle Vorgehensweise verändern zu müssen. Es entsteht lediglich die Aufgabe, eine sinnvolle und übersichtliche Bezeichnungsweise zu finden, damit die Einflußrichtungen klar hervortreten. Hierauf wird in Abschnitt 4421. noch näher einzugehen sein.

Als weitere spezielle Struktur ist die zyklische Phasenfolge zu nennen, die dadurch gekennzeichnet ist, "... daß der Output eines Systems ganz oder teilweise zum Input desselben Systems wird. Die Rückkopplung (feedback) rückt als zusätzliche Erscheinung gegenüber der einfachen und der verzweigten Phasenfolge in den Vordergrund. Die Beziehungen innerhalb des Systems werden komplexer. Es zeigt sich die totale Interdependenz der Variablen."¹⁾ Ein Anwendungsgebiet der zyklischen Phasenfolge könnte z.B. die Steuerung chemischer Prozesse sein. Da die Phasenfolgen ebenfalls als Steuerungsinstrument in der Produktionswirtschaft eingesetzt werden können, sind die durch den Produktionsprozeß vorgegebenen Schleifen im Modell entsprechend abzubilden, wodurch zyklische Phasenfolgen entstehen.

Ein besonderes Beispiel für zyklische Phasenfolgen ist der Kapazitätserweiterungseffekt, der durch die Investitionsfinanzierung aus Abschreibungen entsteht. Die in den Ein-

1) S. Pönninghaus, a.a.O., S. 669

nahmen enthaltenen Abschreibungen werden wieder investiert und dem Gesamtinvestitionswert hinzugerechnet. Der Lohmann-Ruchti-Effekt kann somit durch eine zyklische Phasenfolge beschrieben werden.¹⁾



Abb. 8: Lohmann-Ruchti-Effekt als
zyklische Phasenfolge

Schließlich sei noch ein weiteres bekanntes Beispiel erwähnt, das die Wirkung der Werbeausgaben auf die Verkaufsumsätze erfasst, die ihrerseits über die Einnahmen die Werbeausgaben beeinflussen.²⁾

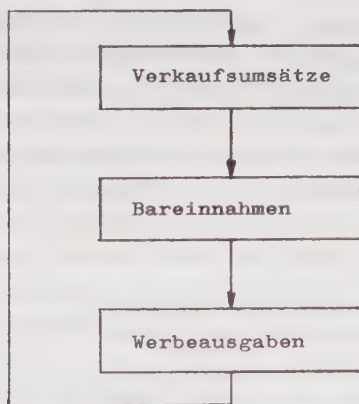


Abb. 9: Die gegenseitige Abhängigkeit von
Verkaufsumsätzen und Werbeausgaben

1) Auf die genaue Vorgehensweise und Wirkungsweise kann hier nicht näher eingegangen werden. Vgl. S. Pönninghaus, a.a.O., S. 669 ff., der hierzu ein ausführliches Beispiel gerechnet hat. Vgl. außerdem: R. Wittgen, BWL, a.a.O., S. 242; E. Heinen, Industriebetriebslehre, a.a.O., S. 629 ff.

2) Vgl.: H. Langen, Betr. Zahlungsströme, a.a.O., S. 273

Je nach Anwendungsgebiet können die zyklischen Phasenfolgen große Bedeutung erhalten. Da in dem zu untersuchenden Fall diese Spezies von Phasenfolgen nicht unmittelbar auftritt, soll nicht weiter darauf eingegangen werden;¹⁾ die angedeuteten Beispiele sollten lediglich die Möglichkeit und Notwendigkeit solcher Folgen aufzeigen und das Grundprinzip erläutern.

Ob zerfallende Phasenfolgen im Ablaufschema zur Schätzung der Devisenausgaben und -einnahmen auftreten oder nicht, läßt sich aus theoretischer Sicht nicht beantworten. Zerfallende Phasenfolgen liegen immer dann vor, wenn zwischen den in die Unternehmung einbezogenen Teilbereichen keine Gesetzmäßigkeiten im Sinne der Verteilungsfunktion aufgestellt werden können.²⁾ Die Teilbereiche, innerhalb derer durchaus Phasenfolgen existieren können, stehen dann "zusammenhanglos" nebeneinander. In unserem Fall können als Teilbereich z.B. die "Einnahmenseite" und die "Ausgabenseite" betrachtet werden, die bei Vorliegen von zerfallenden Phasenfolgen zwar nicht völlig isoliert nebeneinanderstehen, wie dies bei einem Import-/Export handelsbetrieb gegeben ist, deren Zusammenhang allerdings auch nicht funktional erfaßt werden kann, so daß keine Verweilzeitverteilungen ermittelt werden können.

Für den Anwendungsfall würde die Annahme zerfallender Phasenfolgen im Grunde genommen eine Vereinfachung bezüglich der Formulierung bedeuten, da nicht alle Phasen durch Verteilungen zu verbinden wären. Man müßte dann jedoch einen fiktiven Betrieb zugrundelegen, der das Fehlen der Gesetzmäßigkeit an einer bestimmten Stelle rechtfertigen würde. Dieser Spezialfall soll ausgeklammert werden, wodurch sich dann für das gesamte Ablaufschema die Phasenübergänge formulieren lassen.

1) Die prinzipielle Wirkungsweise der zyklischen Phasenfolge wird durch das unter Punkt 542. behandelte Regelungsmodell charakterisiert, wobei durch die Rückkoppelung allerdings die Modellparameter und nicht die Eingangsgrößen beeinflußt werden.

2) Vgl. H. Langen, Betr. Zahlungsströme, a.a.O. S. 273 f.

Quasi als Sonderfall der zerfallenden Phasenfolgen sind hier noch kurz die einmaligen Zahlungen zu erwähnen, die durch keinen stochastischen Zusammenhang beschrieben werden können. Wohl mehr im nationalen, aber auch im internationalen Bereich "... treten in den verschiedenen Perioden vordisponierte, evtl. auch unvorhergesehene Betriebsprozesse auf, wie z.B. vertraglich oder gesetzlich zwingend zu leistende Ausgaben (Gehälter, Löhne, Zins- und Tilgungsleistungen, Miete, Steuern usw.)"¹⁾ Ebenso können auch im Bereich der Devisenzahlungen Ein- und Auszahlungen entstehen, für die der Kausalzusammenhang nicht mehr gegeben ist, wie z.B. Deviseneinnahmen oder -ausgaben für Prozesse im Ausland. Diese Größen können im Rahmen des Prognosemodells nicht erfaßt werden, und eine gesonderte Kurssicherung wird für die entsprechenden Beträge notwendig. Gesondert bedeutet in diesem Fall, daß sie in den prognostizierten Größen nicht enthalten sind, sondern additiv den Aktiva bzw. Passiva der entsprechenden Periode zuzufügen sind. Sie werden also bezüglich des Gesamtsaldos als bekannt vorausgesetzt und sind - wie in Abschnitt 41. beschrieben - im Rahmen der sonstigen Devisenaktiva und -passiva zu erfassen.

434. Zusammenfassung

Nachdem in Abschnitt 41. die formelmäßige Erfassung des zu prognostizierenden und abzusichernden Devisensaldos pro Periode und Währung vorgestellt wurde, gibt Abschnitt 42. einen Überblick über die Ausgangsgrößen, die zur Prognose der Deviseneinnahmen und -ausgaben herangezogen werden.

1) H. Langen, Der Betriebsprozeß in dynamischer Darstellung. In: ZfB 1968, S. 879, im folgenden zitiert als "Betriebsprozeß".

Mit Hilfe schematischer Darstellungen wurde versucht, die Wirkungsweise und den Gesamtzusammenhang dieser Größen aufzuzeigen.

Die zeitliche Abfolge der Ausgangsgrößen und deren Kausalzusammenhang bieten es an, ein Ablaufmodell zu konzipieren, auf dem die Prognose der Deviseneinnahmen und -ausgaben aufgebaut werden kann. Zur Prognose der Devisensalden wurde daher der Langen'sche Modellansatz der Verweilzeitverteilungen gewählt, bei dem die zeitliche Sequenz betrieblicher Phasen zur Prognose herangezogen wird. Mit Hilfe von Übergangsfunktionen versucht man, zwischen den Phasen einen zeitlich-quantitativen Zusammenhang aufzustellen. In Abschnitt 43. wurden die wesentlichen Probleme dieser Prognosemethode diskutiert, insoweit sie bei der Schätzung der Deviseneinnahmen und -ausgaben von Bedeutung sind.

Nach der Besprechung der substantiellen Grundannahmen des Prognosemodells, die sich hauptsächlich auf den stochastischen Zusammenhang zwischen den zu verknüpfenden Phasen beziehen, wurde in Abschnitt 4312. anhand des Phasenübergangs Devisenforderungen $\longrightarrow$ Deviseneinnahmen die mathematische Formulierung der Übergangsfunktionen als Spektralvektoren vorgestellt. Das darin begründete Prinzip verteilter lags eröffnet die Möglichkeit einer Planrevision in jeder Periode, indem die geplanten Ausgangsgrößen im Zeitpunkt ihrer Realisation durch ihren tatsächlichen Wert ersetzt werden (vgl. Abschnitt 4313.).

Bei der statistischen Ermittlung der Verweilzeitverteilungen sind Vorentscheidungen bezüglich des Erhebungsumfangs, des Erhebungszeitraums, der Erhebungselemente sowie der Basisperiode notwendig (vgl. Abschnitt 4321.). Der Basisperiode kommt in unserem Anwendungsfall besondere Bedeutung zu, da Kursverluste durch betragsmäßige und terminliche Ungenauigkeiten entstehen können. Da zur Kurssicherung aus-

schließlich die Gesamtbeträge pro Valuta und Periode von Interesse sind und nicht etwa die Anzahl der Ausgangsrechnungen, wurden die Verteilungen als Betragsverteilungen konzipiert, die außerdem ein besseres Prognoseergebnis gewährleisten (vgl. 4322.). Aus Gründen der Anschaulichkeit und der Rechenbarkeit kann es sinnvoll sein, empirisch ermittelte Verteilungen zu glätten, zu stützen und zu normieren. Auf diese Weise erhält man eine Verringerung der Komponentenzahl der Spektralvektoren, was eine Verminderung des Rechenaufwandes mit sich bringt und für die praktische Anwendung von großer Bedeutung ist (vgl. 4323.).

Da zur Schätzung des Devisensaldos der Gesamtzusammenhang aller Phasen zu errechnen ist, müssen die einzelnen Phasen des Ablaufschemas verknüpft werden, wodurch sich mehrgliedrige Phasenfolgen ergeben (vgl. 433.). Die Ermittlung der Gesamtverteilungen durch Faltung der Einzelverteilungen hat jedoch deren Unabhängigkeit zur Voraussetzung. Diese Prämisse kann aber nicht generell als erfüllt angesehen werden, weswegen wir die empirische Ermittlung der Gesamtverteilungen dem Modell zugrunde legen wollen. Durch die Zusammenfassung der einzelnen Phasenübergänge bildet sich die mehrgliedrige verzweigte Phasenfolge, die eine Berechnung des Devisensaldos ermöglicht.

44. Übertragung des Prognoseverfahrens auf die betrachtete Phasenfolge

In Abschnitt 43. wurde das Grundprinzip dieses Prognoseverfahrens vorgestellt; es soll nun versucht werden, damit eine Prognoserechnung zur Schätzung der Deviseneinnahmen und Devisenausgaben entsprechend oben diskutiertem Ablaufschema durchzuführen, um die Devisenpositionen je Periode und Währung in Analogie zu der in Abschnitt 41. formulierten

Bestimmungsgleichung prognostizieren zu können. Daraufhin kann dann gemäß der unternehmerischen Zielsetzung ein Kurs-sicherungsgeschäft abgeschlossen werden, um eine Risiko-begrenzung zu erhalten.

Die folgenden Ausführungen gehen dabei immer von der Anwendung des Verfahrens auf einen Fertigungsbetrieb aus, da dadurch der umfassendste Anwendungsbereich berücksichtigt wird; es wird also immer die verzweigte Phasen-folge angenommen.

441. Angrenzende Probleme

4411. Unterschiedliche Strukturen von Spektralvektoren

Wenn man sich das Ablaufschema vergegenwärtigt (vgl. Abb.3, S. 46), so existieren Phasenübergänge, die vom jeweiligen Unternehmen relativ gut beeinflusst werden können. So wird der Übergang Exportaufträge $\longrightarrow$ Devisenforderungen durch eine Art "innerbetrieblichen" Vektor beschrieben, der vom Unternehmen direkt geprägt wird, indem sich darin die Lagerhaltungs-, Transport- und Fertigungsgegebenheiten niederschlagen. Des weiteren werden die Gesetzmäßigkeiten zwischen Devisenverbindlichkeiten und Devisenausgaben vor allem durch die Zahlungsgewohnheiten des Unternehmens selbst bestimmt, wobei eventuelle unterschiedliche Konditionen, die mit den einzelnen Lieferanten bestehen, berücksichtigt werden müssen. Wie oben bereits erwähnt, besteht zwischen den Phasen Exportaufträgen bzw. Inlandsaufträgen und den Importbestellungen kein eigentliches Prognoseproblem, da dem Unternehmer aufgrund seines Bestellsystems bekannt sein müßte, wann er wo welche Ware bestellen muß. Die Zusammenhänge zwischen den Auslands- bzw. Inlandsaufträgen und den Importbestellungen sind insofern auch durch das Unternehmen selbst vorgegeben, wobei im Bestellsystem die

Lieferbedingungen der ausländischen Lieferanten in Betracht zu ziehen sind, wodurch ein indirekter Einfluß von außen auf die Bestellvorgänge ausgeübt wird. Obwohl bei diesen Übergängen eine Einflußnahme seitens des prognostizierenden Unternehmens gegeben ist, kann bei einer großen Anzahl von Ereignissen, die - wie oben erläutert - bei diesem Modell vorausgesetzt wird, doch von stochastischen Gesetzmäßigkeiten ausgegangen werden. Das wiederum bedeutet, daß diese Phasenübergänge nicht für alle zu erfassenden Währungsgebiete und Kundengruppen die gleiche Struktur aufweisen werden, sondern wegen der unterschiedlichen Bedingungen anderen Gesetzmäßigkeiten folgen. Dadurch wird es notwendig, der Möglichkeit unterschiedlicher Verweilzeitverteilungen in dem zu konzipierenden Modell bei allen Phasenübergängen Rechnung zu tragen. Die restlichen Phasenübergänge des Ablaufschemas sind demgegenüber primär fremdbestimmt, d.h. die ausländischen Kunden und Lieferanten sowie die inländischen Kunden¹⁾ prägen unmittelbar die Gesetzmäßigkeiten dieser Phasenübergänge. Über eine entsprechende Konditionengestaltung (z.B. Gewährung von Skonti) kann das Unternehmen zwar indirekt auch auf diese Phasenübergänge Einfluß nehmen, wobei jedoch der stochastische Charakter der Verweilzeitverteilungen nicht verletzt wird. Dadurch wird es auch in diesen Fällen notwendig sein, unterschiedliche Spektren für die Währungsgebiete im Modell zuzulassen.

Aufgrund verschiedenartiger Konditionen, die sich nicht nur auf den Phasenübergang Devisenforderungen → Deviseneinnahmen zu beschränken brauchen, oder etwa ausgeprägter Kundengruppen können die Verweilzeitverteilungen auch innerhalb einer Valuta verschiedene Strukturen annehmen, die eine spezielle Erfassung z.B. von Kundengruppen erfordern. Nimmt man den Phasenübergang Devisenforderung → Deviseneinnahmen als Beispiel, so ist folgende Verweilzeitver-

1) Inländische Lieferanten haben auf dieses Modell keinen Einfluß.

teilung denkbar, wobei es sich um eine rein qualitative Betrachtung handelt:

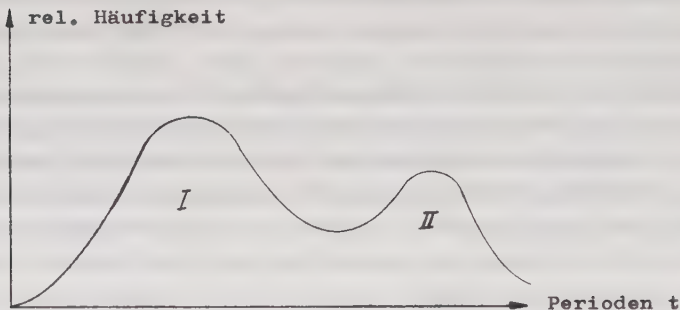


Abb. 10: Verweilzeitverteilung für zwei verschiedene Kundengruppen

Die beiden Gipfel lassen erkennen, daß es offensichtlich eine Kundengruppe I gibt, die insgesamt die Forderungen wesentlich früher begleicht als die Kundengruppe II, die im Durchschnitt viel später bezahlt. Die Gründe dafür können beispielsweise unterschiedliche Zahlungsbedingungen sein, die den beiden Gruppen eingeräumt werden; oder kann die Gruppe II - etwa aufgrund größerer Marktmacht (Großkunden) - trotz gleicher Bedingungen längere Zahlungsziele erzwingen. Derartige Strukturen können in noch größerer Variationsbreite auch bei den anderen Phasenübergängen auftreten und grundsätzlich zur Diagnose von Zahlungsgewohnheiten, Lieferungszeiten usw. benutzt werden.¹⁾ Rein rechnerisch ist es möglich, die Gruppen oder Konditionsarten von Anfang an getrennt zu betrachten und gesonderte Spektren zu ermitteln,²⁾ was in praxi zu einem

1) Vgl.: R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 494; L. Neumeyer, a.a.O., S. 66

2) Der Einfluß unterschiedlicher Zahlungsbedingungen kann durch separate Verteilungen pro Kondition erfaßt werden. Daraus werden die Einnahmen pro Zahlungsbedingung errechnet, deren Summe pro Periode die Gesamteinnahmen ergibt. Vgl.: H. Langen, Prognose, a.a.O., S. 306 ff.

relativ aufwendigen Verfahren und erhebungstechnischen Schwierigkeiten führen dürfte. Die zweite Möglichkeit besteht darin, die bestehende Verweilzeitverteilung in einzelne getrennte Verteilungen aufzuspalten, wobei für die Einzelverteilungen eine Gauß'sche Normalverteilung zugrundegelegt wird.¹⁾ In unserem Beispiel können derart ermittelte Einzelverteilungen folgendermaßen -rein qualitativ- gekennzeichnet werden:

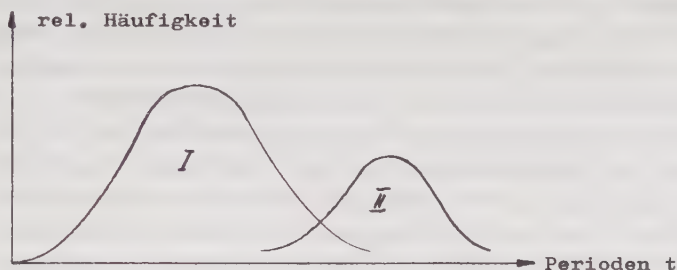


Abb. 11: Aufteilung der Verweilzeitverteilungen zweier Kundengruppen in je eine Verteilung pro Kundengruppe

1) Eine Technik, die es erlaubt, eine Mischgesamtheit in einzelne Teilgesamtheiten zu zerlegen ist beschrieben bei: K. Daeves und A. Beckel, Großzahl-Methodik und Häufigkeitsanalyse, 2. völlig überarbeitete und stark erweiterte Auflage von "Großzahl-Forschung und Häufigkeits-Analyse", Weinheim 1958, S. 55 ff.; J. Heinhold und K.-W. Gaede, Ingenieur-Statistik, München/Wien 1964, S. 142 ff., wiedergegeben bei L. Neumeyer, a.a.O., S. 61 ff. Wie bemerkt, wird dabei von der Annahme vorliegender Normalverteilungen ausgegangen. Die Vorgehensweise faßt L. Neumeyer, a.a.O., S. 69 folgendermaßen zusammen:

- a) Prüfung der Summenprozentlinie einer Häufigkeitsverteilung ... im Wahrscheinlichkeits-Netz unter Verwendung verschiedener Merkmalmaßstäbe auf ihre Geraden-Eigenschaft;
- b) Zerlegung der Häufigkeitsverteilungen in Teilgesamtheiten;
- c) Überprüfung der Teilgesamtheiten auf ihre Geraden-Eigenschaft; Vornahme eventueller weiterer Zerlegungen;
- d) Eliminierung von prozentual zur Gesamtverteilung unbedeutenden "Rand"-Gesamtheiten."

Das Wahrscheinlichkeitsnetz "... ist ein funktionales Papier, bei dem die Ordinatenkala derart verzerrt ist, daß sich die s-förmig geschwungene Kurve der Verteilungsfunktion einer Normalverteilung auf diesem Papier zu einer Geraden streckt"; E. Kreyszig, a.a.O., S. 173

Die prinzipielle Möglichkeit der Aufteilung von bestehenden Verteilungen, die in einem konkreten Anwendungsfall durchaus relevant werden kann, sollte hier nicht unerwähnt bleiben. Für die Phasenübergänge im Ablaufschema wird jedoch von einer geschlossenen Verteilung pro Phase und Währung ausgegangen.

Nachdem die Variationsmöglichkeiten der Verweilzeitverteilungen bei den verschiedenen Währungen und aufgrund weiterer Einflußfaktoren innerhalb der Valuten besprochen wurden, ist die zeitliche Konstanz der Verweilzeitverteilungen zu untersuchen. In den bisherigen Erörterungen wurde die Stationarität der Verweilzeitverteilungen angenommen, so daß auf der Basis einmal ermittelter Verteilungen, Prognosen für beliebig viele weitere Perioden gestellt werden können. Daß die Stationaritätsvoraussetzung - also die Konstanz im Zeitablauf - in einer sich entwickelnden und ständig sich verändernden Wirtschaftswelt eine unrealistische Prämisse darstellt, kann anhand der vielen, ständigen Änderungen unterworfenen Einflußfaktoren gezeigt werden. Ohne eine vollständige Auflistung der möglichen Einflußfaktoren wiedergeben zu können, sollen einige Größen erwähnt werden.

Zumal dieses Modell den internationalen Bereich erfaßt, haben dazubezügliche wirtschaftliche Größen neben den nationalen Einflußfaktoren unmittelbare Auswirkungen. So wird das Zahlungsverhalten der ausländischen Kunden neben den Zahlungsbedingungen verbunden mit einem entsprechenden Mahnwesen, ihrer Marktmacht gegenüber dem Lieferanten, der Liquiditätslage, der Preispolitik der Konkurrenz, auch beeinflusst von dem Zinsniveau der beiden Länder, den politischen Gegebenheiten, der Notenbankpolitik, dem Währungssystem und damit verbunden der Stabilität der Währungen. Umgekehrt wird der deutsche Importeur sein Zahlungsverhalten ebenfalls von diesen und mehr Komponenten abhängig machen. Rechnet er z.B. mit Sicherheit mit einer Befestigung der D-Mark gegenüber

dem US-\$, so wird er versuchen, seine Dollarverbindlichkeiten erst nach möglichst langer Zeit zu begleichen, sofern kein entsprechendes Kurssicherungsgeschäft bereits abgeschlossen wurde, wodurch ein gleich großer Dollarbetrag bereits zur Verfügung stünde. Des weiteren hängen die Verweilzeiten zwischen Aufträgen und Lieferungen sowohl auf der Export- als auch auf der Importseite etwa von den sich ändernden Transportmöglichkeiten ab (im Überseeverkehr z.B. schneller werdende Schiffe, bessere Verladeeinrichtungen (Container), zunehmender Anteil an Luftfracht und anderes mehr); weiterhin spielen die konjunkturelle Lage, Beschäftigungslage, evtl. Streiks, Absatzmarkt, politische Unruhen, Katastrophenfälle und vieles mehr eine wesentliche Rolle. Schließlich wird die zeitliche und quantitative Verteilung zwischen Anfragen und Export- bzw. Importaufträgen neben der allgemeinen Unternehmenspolitik und der momentanen Unternehmenssituation auch von dem Konjunkturzyklus und den zukünftigen Geschäftserwartungen geprägt. Bei schlechter konjunktureller Lage in den jeweiligen Ländern werden die Verweilzeiten dieser Phasenübergänge im Durchschnitt länger und die Komponentensumme relativ geringer sein als bei sehr positiven Entwicklungstendenzen. Diese und mehr sich ständig ändernden Einflußfaktoren wirken auf die Verweilzeitverteilungen, wodurch realiter eine Stationarität nicht gegeben sein kann.

Allerdings darf der Begriff der Stationarität in diesem Fall nicht so eng ausgelegt werden, daß damit die absolute Identität der Verteilungen im Zeitablauf gefordert wird. "In unserem Sinne verstanden läßt sich das Stabilitätsphänomen deshalb nur dahingehend einkreisen, indem man postuliert: "stabil ist, was als stabil angesehen wird."¹⁾ Daraus folgt, daß es sich bei der Definition der Stationarität in diesem Fall um eine Ermessensfrage handelt, die von Zweckmäßigkeits- und Rentabilitätsüberlegungen getragen wird, wie dies schon bei

1) L. Neumeyer, a.a.O., S. 71

der Frage nach der Einführung eines Prognosemodells der Fall war. Man wird sich zunächst eine gewisse Planqualität vorgeben, innerhalb der die Prognoseergebnisse schwanken dürfen, wodurch sich dann auch die Stabilitätsgrenzen der Verteilungsspektren ergeben. Innerhalb dieser definierten Stabilitätsgrenzen kann die Stationarität der Verteilungen als gegeben angesehen werden. Ein solches Verhalten kann jedoch nur erwartet werden, wenn die Spektren um ein stabiles Ausgangsspektrum innerhalb einer bestimmten Bandbreite schwanken. Ändern sich jedoch die Gesetzmäßigkeiten im Zeitablauf trendartig oder auch abrupt über diesen Stabilitätsbereich hinaus, so zeichnet sich mit der Zeit ein völlig anderes Übergangsverhalten ab, bei dem obige Stabilitätsgrenzen überschritten werden. Dabei kann die mittlere Verweilzeit erhalten bleiben und eine entsprechend vergrößerte oder verkleinerte Streubreite eintreten oder kann bei gleichbleibender, vergrößerter oder verkleinerter Streubreite die mittlere Verweilzeit über die Stabilitätsgrenze hinweg verlängert oder verkürzt werden. Die möglichen Situationen lassen sich in ihrem prinzipiellen Verlauf durch eine Graphik veranschaulichen:

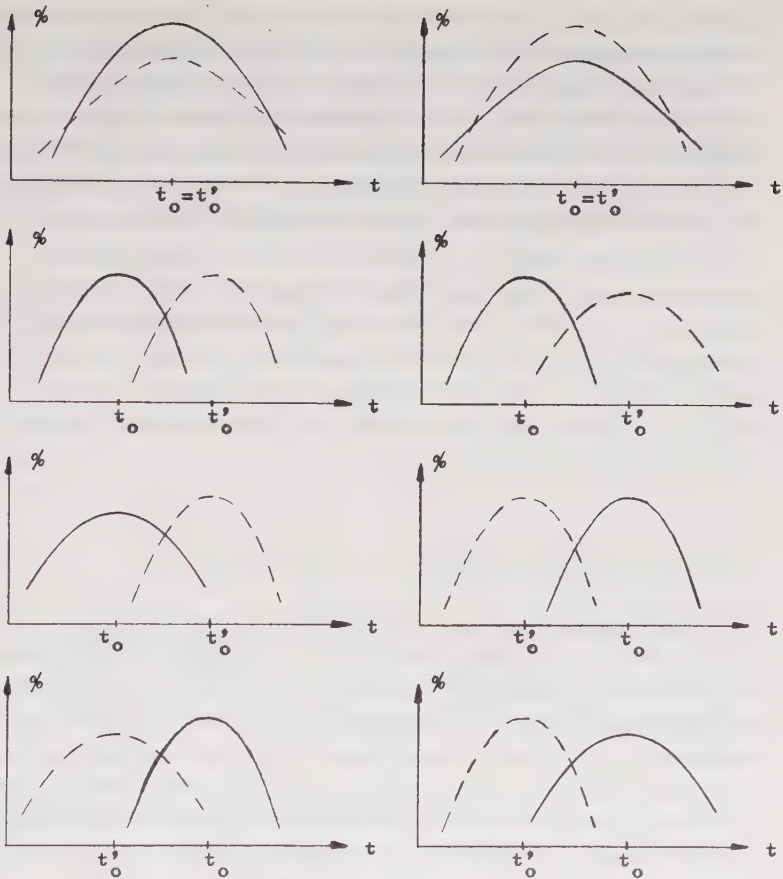


Abb. 12: Prinzipielle Veränderungsmöglichkeiten der Verweilzeitverteilungen

Es bedeutet:

- Ausgangsverteilung
- veränderte Verteilung

t_o : mittlere Verweilzeit der Ausgangsverteilung
 t'_o : mittlere Verweilzeit der veränderten Verteilung

In Abb. 12 sind die prinzipiellen Veränderungsmöglichkeiten aufgezeigt, wobei über den genauen Verlauf und die Stabilitätsgrenze keine Aussage gemacht wurde. Der Frage nach Kriterien zur Bestimmung der Stabilitätsgrenzen und möglichen Abänderungen der Verweilzeitverteilungen zur Angleichung an die neue Situation soll in den Abschnitten 522. und 53. nachgegangen werden.

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich für das zu konzipierende Modell, daß für jede Währung und jeden Phasenübergang eine gesonderte Verweilzeitverteilung explizit berücksichtigt wird. Dabei ist zunächst von der Stationaritätsvoraussetzung auszugehen, die dann an späterer Stelle im Rahmen der Erörterung von Revisionsmöglichkeiten wieder aufgegeben werden wird.

4412. Die Berücksichtigung von Vorauszahlungen

Ein Problem das bisher noch nicht angeschnitten wurde, das aber im Auslandsgeschäft durchaus von Bedeutung ist, sind die Vorauszahlungen. Grundsätzlich wird in der Literatur die Berücksichtigung von Vorauszahlungen als modellkonform angesehen, eine Lösungsmöglichkeit wird meines Wissens nicht explizit angeboten. Die hierbei ausschließlich interessierenden Phasenübergänge der Einnahmenseite sind Exportaufträge $\longrightarrow$ Devisenforderungen $\longrightarrow$ Deviseneinnahmen. In der Literatur wird bei der Behandlung dieser Art von Phasen meist von "Fertigungsauftrag $\longrightarrow$ Verkaufsumsatz $\longrightarrow$ Bareinnahmen"¹⁾ ausgegangen. Treten nun Vorauszahlungen auf, so sind zur Ermittlung der Einnahmen für die Periode t auch Umsätze nachgelagerter Perioden in den Kalkül einzubeziehen. Edin²⁾ sieht eine Lösungsmöglichkeit in der Benützung negativer Verweilzeitverteilungen, ohne jedoch weiter darauf einzugehen, oder

1) Vgl.: H. Langen, Betr. Zahlungsströme, a.a.O., S. 272

2) R. Edin, Übergangsfunktionen, a.a.O., S. 576

durch die Prognose der Vorauszahlungen "... von einer dem Umsatz vorgelagerten Phase, etwa vom Auftragseingang aus ..." ¹⁾. Wenn man davon ausgeht, daß Vorauszahlungen nur modellkonform sein können, wenn sie relativ häufig und regelmäßig auftreten, so kann eine Prognose auch durch Umgestaltung der Umsatzmatrix gewonnen werden, wobei die Vektorkomponenten entsprechend anzupassen sind:

$$\begin{bmatrix} u_{t+n^*} & u_{t+n^*-1} & \dots & u_t & \dots & u_{t-n} \\ \cdot & & & u_{t+1} & & \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ u_{t+m} & & & & & \\ 0 & & & & & \\ \cdot & & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot & & \cdot \\ 0 & & & & & \\ & \dots & & u_{t+m} & \dots & u_{t+m-n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_{n+n^*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_t \\ e_{t+1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ e_{t+m-n^*} \end{bmatrix}$$

n^* = maximale Anzahl der Perioden, für die Vorauszahlungen geleistet werden.

m = Anzahl der bekannten Umsätze, die der Periode t nachgelagert sind.

In diesem Fall muß die Beziehung gelten:

$$m \geq n^*,$$

da es sinnlos ist, mit Vorauszahlungen aus zu erwartenden Umsätzen zu rechnen, die noch gar nicht bekannt sind.

Wie aus dem Tableau weiter hervorgeht, verkürzt sich der Prognosezeitraum für die Einnahmen erheblich auf $m - n^* + 1$ Perioden. Bei der Schätzung weiterer Perioden nimmt der Anteil der Vorauszahlungen ständig ab, bis bei $m + 1$ Perioden schließlich keine Vorauszahlungen mehr erfaßt werden.

1) ders., a.a.O., S. 576

Um diese "Umkonstruktion" der Matrix zu vermeiden, werden in dem zu entwickelnden Modell nicht die Umsätze zur Ausgangsbasis für die Schätzung der Deviseneinnahmen benutzt, sondern die Devisenforderungen. Dabei ist es für die Forderungsentstehung unerheblich, wann die Fakturierung der Umsätze eintritt. Eine Vorauszahlungsvereinbarung bewirkt also eine Forderungsentstehung vor Fakturierung, die dann entsprechende Deviseneinnahmen herbeiführt. Bei dieser Modellkonstruktion ist es also nicht notwendig, Vorauszahlungen explizit im Modell zu berücksichtigen, da durch die Verwendung der Devisenforderung der Fakturierzeitpunkt unerheblich wird, und Vorauszahlungen somit "automatisch" modellimmanent sind. Entsprechend läßt sich diese Vorgehensweise auf die "Ausgabenseite" übertragen.

4413. Der Ausgangspunkt der Prognose

Bevor die zusammenhängende Formulierung der Phasenübergänge entsprechend dem Ablaufschema dargestellt werden kann, ist noch ein bereits kurz angeschnittener Problemkreis zu erörtern (vgl. Abschnitt 4312.). Die Prognose der Deviseneinnahmen ist abhängig von den Devisenforderungsbeträgen zurückliegender und zukünftiger Perioden. Es erhebt sich also die Frage, wie die noch nicht realisierten Größen ermittelt, d.h. ihrerseits wieder geschätzt werden können. Solange wir uns "innerhalb" des Phasenablaufschemas befinden, ist dieses Problem durch den Grundaufbau des Modells gelöst: Die Deviseneinnahmen werden aus den Devisenforderungen geschätzt, diese wiederum aus den Exportaufträgen, die sich schließlich aus den Exportanfragen ableiten. Entsprechend wird auf der "Ausgabenseite" verfahren, nur daß hierbei die Verzweigung zur Ermittlung der Importbestellungen beachtet werden muß. Letztlich hängt die Prognose der Deviseneinnahmen und -ausgaben von den Inlands- bzw./und Exportanfragen ab. Um jedoch die

Export- bzw. Inlandsaufträge aus den Anfragen für mehrere Perioden voraussagen zu können, müssen entsprechend der bereits dargestellten Devisenforderungsmatrix Exportanfrage- und Inlandsanfragematrizen existieren. Dies wiederum bedeutet, daß neben einer Reihe zurückliegender Perioden auch Größen zukünftiger Perioden bekannt sein müssen. Eine Prognose dieser Größe gemäß dem Ablaufschema ist nun nicht mehr möglich, da die Export- und Inlandsfragen den eigentlichen Input des Systems darstellen. Im Rahmen des betrachteten Ablaufschemas stehen die Anfragen in keinem kausalen Zusammenhang zu einer vorhergehenden Inputgröße, weil solche Abhängigkeiten für den Anwendungsfall kaum und wenn, dann sehr ungenau gegeben sein werden. (Bei einem örtlich sehr begrenzten Gebiet könnten die Anfragen eventuell als Folge einer bestimmten Werbung gesehen werden, wobei sich die Werbeaufwendungen wieder aus dem erzielten Umsatz ableiten können. Insoweit würde eine zyklische Phasenfolge entstehen). Zur Schätzung dieser Größen müssen also andere Prognoseverfahren herangezogen werden. Generell können hier statistische Prognosemethoden, wie z.B. Regressionsanalyse, Trendrechnung und Exponentielle Glättung in unterschiedlichen Ausgestaltungen zur Anwendung kommen. Des weiteren können durch Marktforschung Anhaltspunkte über die Entwicklung der Anfragen gewonnen werden. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, wollte man für die Prognose der Anfragen das geeignetste Modell herauskristallisieren. Dazu kommt, daß die Prognosegüte bezüglich der Anfragenschätzung für die Gesamtprognosequalität des Modells von nicht so entscheidender Bedeutung ist:

Durch die Anfragen wird der größte Prognosezeitraum repräsentiert, wodurch an die Prognosegüte ohnehin keine allzu großen Anforderungen gestellt werden können. Außerdem ergeben sich bei der beschriebenen Vorgehensweise eine Reihe Korrekturpunkte, die das Gesamtergebnis entscheidend verbessern werden. Schließlich wirken sich die Schätzfehler

bei den Anfragen zunächst gar nicht in vollem Umfang aus, da die Besetzungshäufigkeiten der Spektralvektoren für die ersten Perioden Null oder zumindest fast vernachlässigbar klein sein werden. Wenn wir den Gesamtvektor z.B. zwischen Exportanfragen und Deviseneinnahmen betrachten, so wird - besonders, da es sich um Auslandsgeschäfte handelt - eine Anfrage in der Periode t in praxi nicht zu einer Einnahme in der Periode t führen. Zufolge der Formalitäten für die Auftragserteilung und -bestätigung, evtl. Fertigung, Lieferung und Zahlungsziel werden immer einige Perioden verstreichen, bis Einnahmen aufgrund von Anfragen zu erwarten sind. Danach werden die Einnahmen zunächst auch nur relativ zögernd zunehmen, so daß die Vektorkomponenten der ersten Perioden noch sehr kleine Werte annehmen. Sind aber die ersten x Komponenten eines Spektralvektors Null oder zumindest sehr klein, so können von t ausgehend noch x Perioden geschätzt werden, ohne die Prognosequalität wesentlich zu beeinflussen. Ein fiktives Zahlenbeispiel soll das Gesagte verdeutlichen.

Für die Anfragen seien folgende Größen bekannt:

$t:$	200	100	300	200	100	400	500	---	0
$t+1:$	?	200	100	300	200	100	400		0
$t+2:$	?	?	200	100	300	200	100		0
$t+3:$	?	?	?	200	100	300	200		0,001
$t+4:$	?	?	?	?	200	100	300		0,002
.							.		.
:							.		.
.							.		.

Man sieht, daß bei den gewählten Vektorkomponenten die durch ein Fragezeichen symbolisierten Schätzgrößen für die Anfragen bis einschließlich der Periode $t + 3$ überhaupt keinen Einfluß auf das Prognoseergebnis haben, und danach wirken sich eventuelle Schätzfehler aufgrund der geringen Gewichtung

durch die kleinen Komponentenwerte zunächst auch unwesentlich auf das Resultat aus.

Das Problem der Schätzung der Export- und Inlandsanfragen soll daher für diese Arbeit als gelöst betrachtet werden. Dadurch wird es möglich, ausgehend von den Export- und Inlandsanfragen die Prognosewerte für alle Phasen entsprechend beschriebener Grundstruktur zu errechnen.

442. Formulierung der Prognosegleichung

4421. Bezeichnungen und prinzipielle Vorgehensweise

In den vorangegangenen Kapiteln wurde versucht, die Bezeichnungen der Vektoren möglichst anschaulich zu gestalten. Allerdings wurden dort beispielhaft nur einzelne und geradlinige mehrgliedrige Phasenfolgen betrachtet. Faßt man nun alle Phasen gemäß dem Ablaufschema zusammen, so führen oben gewählte Bezeichnungen eher zu einem verworrenen Bild, da die Vielfalt der entstehenden Verbindungen in dieser Weise keine übersichtliche Kennzeichnung erlaubt. Der Übergang zu einer anderen Markierung der Phasen und Spektralvektoren scheint daher für das Gesamtmodell von Vorteil zu sein. Dabei wird von folgenden Bezeichnungen ausgegangen, wobei die Phasen allgemein durch p und die Spektralvektoren durch s gekennzeichnet sind:

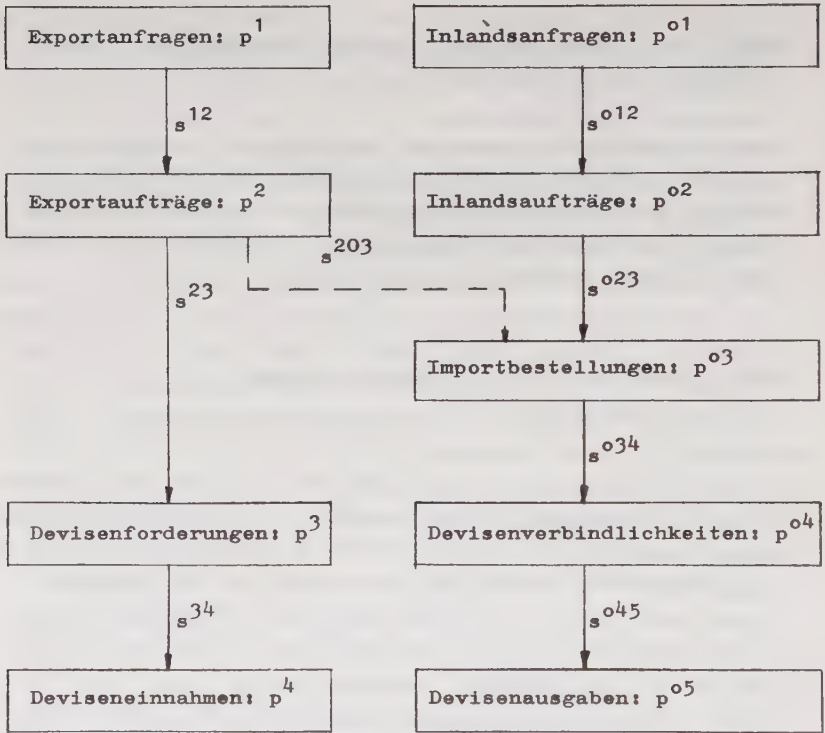


Abb. 13: Bezeichnung der Phasen und Vektoren im Phasenablaufscha

Die Phasen der "Einnahmenseite" und "Ausgabenseite" unterscheiden sich lediglich durch die vorgesetzte 0 bei den Werten der "Ausgabenseite". Die Spektralvektoren erhalten ihre Bezeichnung von den Phasen, die sie miteinander verbinden. Auf diese Weise lassen sich auch die mehrere Phasen umfassenden Vektoren eindeutig angeben und in das Gesamtsystem einfügen. Beispielsweise ergeben sich folgende Bezeichnungen:

Exportanfragen	→	Deviseneinnahmen:	s^{14}
Exportaufträge	→	Deviseneinnahmen:	s^{24}

oder auch der aus den Exportanfragen resultierende Teil der Devisenausgaben einer bestimmten Periode und Währung¹⁾:

Exportanfragen	→	Devisenausgaben:	s^{105}
----------------	---	------------------	-----------

Die mehrere Perioden umfassenden Vektoren werfen auch bei dem Anwendungsfall die Problematik der Unabhängigkeit der einzelnen Verteilungen auf. Wie am Ende von Abschnitt 4331. bemerkt, wird man in praxi die empirische Ermittlung aller zu erfassenden Phasenübergänge der Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeiten vorziehen. Dies wiederum bedeutet, daß eine Prognose aus der Prognose - also eine Serienprognose - nicht möglich ist. Will man aber dennoch die Möglichkeit haben, entsprechend der in Abschnitt 42. beschriebenen Vorgehensweise die Prognosewerte für die einzelnen Phasen zu überprüfen und nötigenfalls zu korrigieren, so muß zu einer Parallelprognose übergegangen werden.²⁾

In den Abbildungen 14 a bis 14 d ist die Vorgehensweise schematisch dargestellt, wodurch auch die zur Schätzung notwendigen Spektralvektoren hervorgehoben werden:

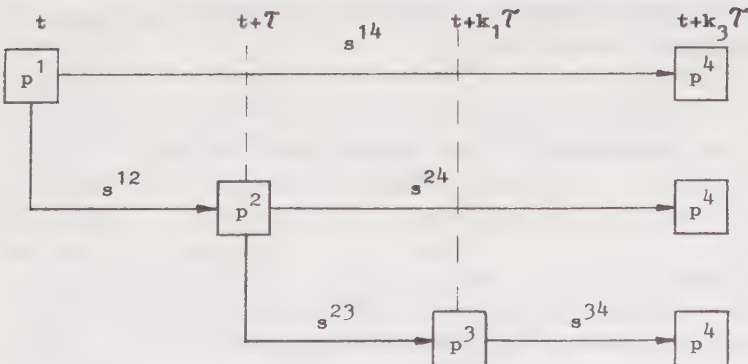


Abb. 14 a: Die zu erfassenden Phasen und Vektoren zur Schätzung der Deviseneinnahmen aus den Exportanfragen

- 1) Die Zeit- und Währungsindizes sind zunächst nicht beigelegt.
- 2) Zu den Begriffen "Serienprognose" und "Parallelprognose" vgl. R. Edin und H. Schmitt, a.a.O., S. 504

Zu einem beliebig gewählten Zeitpunkt t werden von den Exportanfragen p^1 ausgehend über s^{14} die Deviseneinnahmen p^4 einer bestimmten Periode $t+k_3\tau$ sowie über s^{12} die Exportaufträge p^2 der Periode $t+\tau$ geschätzt. Zum Zeitpunkt $t+\tau$ sind die Exportaufträge dieses Termins bekannt, so daß die Inputgrößen p^1 sowie s^{12} überprüft werden können, was sich über s^{14} auch auf p^4 auswirkt. Außerdem wird dann in der Periode $t+\tau$ über s^{24} ein genauerer Wert für p^4 per Termin $t+k_3\tau$ ermittelt. Dadurch wird eine erste Korrektur von s^{14} zum Zeitpunkt $t+\tau$ ermöglicht. Weiterhin kann zu diesem Zeitpunkt über s^{23} eine Schätzung für p^3 per $t+k_1\tau$ abgegeben werden. In der Periode $t+k_1\tau$ schließlich liegen aufgrund der Realisierung von p^3 die genauesten Prognosen für p^4 per $t+k_3\tau$ vor, was eine Überprüfung von s^{24} und eine erneute Korrektur von s^{14} ermöglicht, sowie eine Korrekturmöglichkeit für s^{23} eröffnet. Zum Zeitpunkt $t+k_3\tau$ ergibt dann der Plan-Ist-Vergleich von p^4 die Möglichkeit zur Überprüfung von s^{14} , s^{24} und s^{34} . Theoretisch sind bei der Parallelprognose die Vektoren s^{12} und s^{23} redundant. Sie dienen jedoch in diesem Fall der Prognose zukünftiger Werte für p^2 und p^3 , die dann auch entsprechend zu überprüfen sind. Keineswegs können diese Vektoren mit den unmittelbar folgenden gefaltet werden, da sonst die besprochene Problematik ebenso auftritt.

In Analogie zu dem Gesagten lassen sich auch die Anteile der Devisenausgaben $\bar{p}^{o5}$ prognostizieren, die aus den Exportanfragen p^1 resultieren. Dieser Zusammenhang stellt die Verzweigung der beiden geradlinigen Phasenketten der "Einnahmen- und Ausgabenseite" dar. Bezüglich der Prognose- und Korrekturmöglichkeiten gelten hier die gleichen Gesetzmäßigkeiten, wobei die Phasen p^1 , p^2 , $\bar{p}^{o3}$, $\bar{p}^{o4}$ und $\bar{p}^{o5}$ sowie die Vektoren s^{1o5} , s^{12} , s^{2o5} , s^{2o3} , s^{o35} , s^{o34} und s^{o45} zur Prognose herangezogen werden müssen. (Die Anteile der "Ausgabenseite" (ab p^{o3}), die auf die Exportanfragen zurückgehen, werden

mit $\bar{p}^{o3}$, $\bar{p}^{o4}$ und $\bar{p}^{o5}$ bezeichnet, die aus den Inlandsanfragen resultieren mit $\bar{p}^{o3}$, $\bar{p}^{o4}$ und $\bar{p}^{o5}$.) Die oben getroffene Aussage zur Redundanz der Vektoren bezieht sich hier auf s^{12} , s^{203} und s^{o34} ,

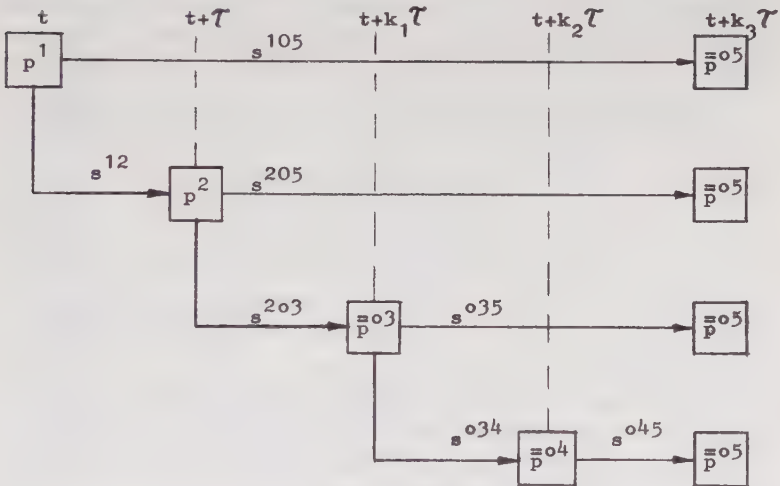


Abb. 14 b: Die zu erfassenden Phasen und Vektoren zur Schätzung derjenigen Anteile der Devisenausgaben, die aus Exportanfragen resultieren.

Zur Prognose und Überwachung der Werte sind in Abb. 14 a und 14 b die gleichen fiktiven Zeitpunkte gewählt, wobei für die eingeführten Konstanten die Beziehung gilt:

$$1 < k_1 < k_2 < k_3$$

Für die Exportanfragen als Ausgangspunkt der Prognose der Deviseneinnahmen und eines Teiles der Devisenausgaben lassen sich die beiden Abbildungen zusammenfassen, wodurch der Gesamtzusammenhang der von den Exportanfragen beeinflussten Phasen dargestellt wird:

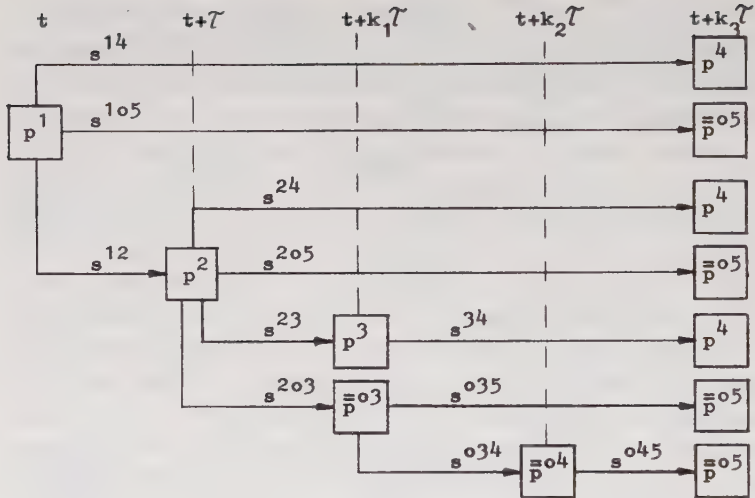
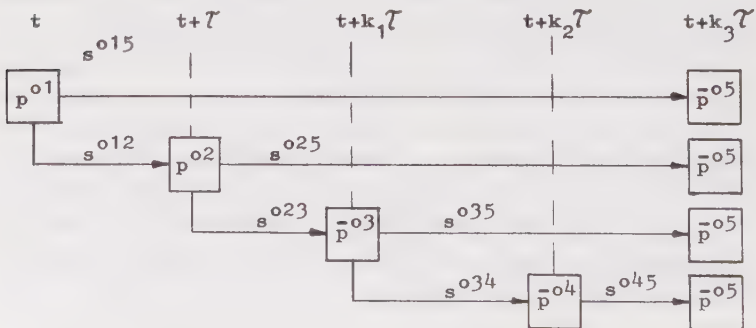


Abb. 14 c: Die zu erfassenden Phasen und Vektoren zur Schätzung der Deviseneinnahmen und derjenigen Anteile der Devisenausgaben, die aus Exportanfragen resultieren.

Schließlich lassen sich in gleicher Weise auch die Phasen und Spektralvektoren zur Schätzung der Anteile der Devisenausgaben darstellen, die aus den Inlandsanfragen hervorgehen:



Für die Interpretation von Abb. 14 d gilt das oben Gesagte entsprechend; die Vektoren s_{012} , s_{023} und s_{034} sind theoretisch wiederum als redundant anzusehen.

Die beschriebene Vorgehensweise gibt an, wie ausgehend von den Exportanfragen und Inlandsanfragen eines bestimmten Termins die Deviseneinnahmen und Devisenausgaben eines ebenfalls festgelegten Termins geschätzt werden können. Dabei werden die unterschiedlichen Phasen in einer zeitlichen Sequenz gesehen, wodurch sich Überprüfungs- und Korrekturmöglichkeiten für die herausgegriffenen Werte der bestimmten Termine ergeben. Diese Systematik spiegelt das Prinzip der Phasenfolgen eindeutig wider, aber hat den Nachteil, daß quasi die "Verfolgung" der Anfragen eines Termins bis zur Devisenprognose eine umständlichere mathematische Formulierung erfordert. Wie in Abschnitt 42. dargelegt, finden die Überprüfungen und Korrekturen der Werte in jeder Periode und auf allen Zeitachsen statt, so daß auch von einer bestimmten Periode ausgegangen werden kann, in der gleichsam alle Phasen zur Prognose der Deviseneinnahmen und -ausgaben unterschiedlicher zukünftiger Perioden herangezogen werden. In einer bestimmten Periode t werden von den Exportanfragen und Inlandsanfragen ausgehend die Deviseneinnahmen und -ausgaben für den weitesten Prognosezeitraum geschätzt. In der gleichen Periode werden jedoch auch von den anderen Phasen aus Prognosewerte der Einnahmen und Ausgaben für entsprechend kürzere Perioden ermittelt, die dann zur Korrektur der früher, für einen längeren Prognosezeitraum errechneten Werte herangezogen werden können. Schließlich ist in t auch ein Vergleich mit früher errechneten Plandaten für die Deviseneinnahmen und -ausgaben möglich, wodurch diese Modellkonstruktion die gleichen Überprüfungs- und Korrekturmöglichkeiten bietet. Lediglich der Ausgangspunkt ist verschoben, was an der prinzipiellen Vorgehensweise jedoch nichts ändert. In Analogie zu Abb. 14 c und 14 d kann die Systematik folgendermaßen dargestellt werden:

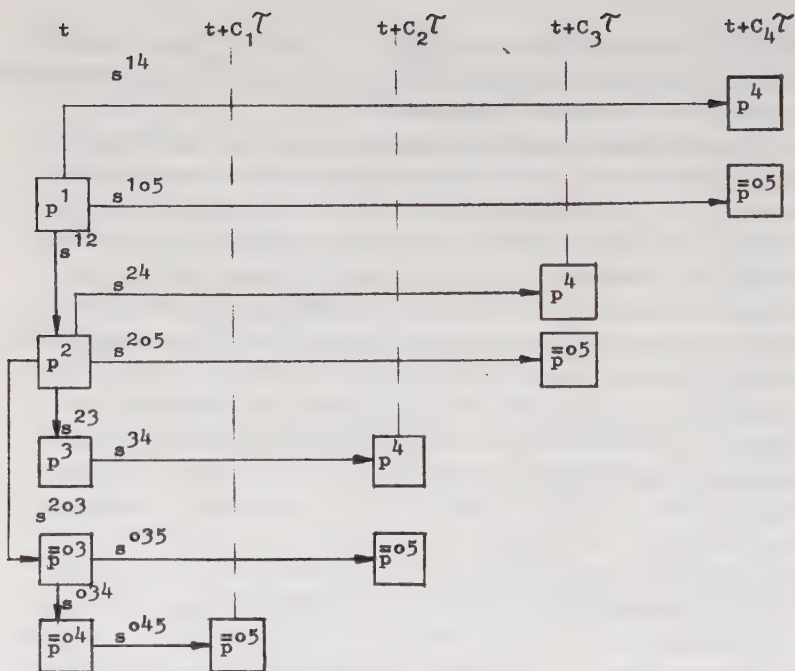


Abb. 15 a: Schätzung der Deviseneinnahmen und der Teile der Devisenausgaben, die aus den Exportanfragen resultieren, ausgehend von allen Phasen in der Periode t

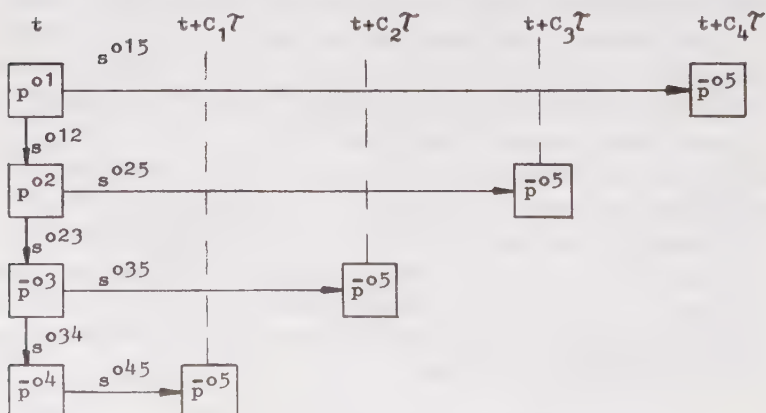


Abb. 15 b: Schätzung der Anteile der Devisenausgaben, die aus Inlandsanfragen resultieren, ausgehend von allen Phasen in der Periode t

Die Interpretation der beiden Abbildungen ergibt sich unmittelbar aus dem oben Gesagten und den angegebenen Bezeichnungen; die Prognosezeiträume sind ebenso fiktiv festgelegt, wobei für die Konstanten die Beziehung gilt:

$$0 < c_1 < c_2 < c_3 < c_4$$

Aufgrund dieser Umformulierung lassen sich nun alle Matrizen für die Berechnung der verschiedenen Phasen gleichermaßen auf den Bezugszeitpunkt t beziehen.

4422. Die Modelldarstellung

Wäre es möglich, von der Unabhängigkeit der Verweilzeiten zwischen den Phasen auszugehen, so könnte über die Faltungsprodukte eine geschlossene Darstellung zur Berechnung der Deviseneinnahmen und -ausgaben angegeben werden. Durch die Verwendung empirisch ermittelter Verteilungen in skizzierter Weise ist dies nicht möglich, da eine Faltung der Vektoren (z.B. s^{12} , s^{23} und s^{34} in Abb. 14 a) zu falschen Ergebnissen führen könnte.

Anhand der Abbildungen 15 a und 15 b wird deutlich, von welchen Phasen aus welche Größen prognostiziert werden können. So lassen sich von p^1 ausgehend die Deviseneinnahmen, die Exportaufträge sowie diejenigen Anteile der Devisenausgaben schätzen, die durch den Güterexport notwendig werden. Für die Deviseneinnahmen ergibt sich folgende Prognosefunktion:

$$\begin{bmatrix} p_{t,k}^1 & p_{t-1,k}^1 & \dots & p_{t-n_1,k}^1 \\ p_{t+1,k}^1 & & & \\ \vdots & & & \\ p_{t+m,k}^1 & \dots & p_{t+m_1-n_1,k}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{o,k}^{14} \\ \vdots \\ s_{n_1,k}^{14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{t,k}^4 \\ \vdots \\ p_{t+m,k}^4 \end{bmatrix}$$

- m_1 : ist die Anzahl der Perioden, für die über t hinaus Kundenanfragen bekannt sind.
- $n_{14}+1$: Komponentenzahl des Spektralvektors s^{14}
- k : ist der laufende Index für die verschiedenen Währungen. Dabei ist es wahrscheinlich, daß die Größen m_1 und n_{14} für unterschiedliche Währungen auch unterschiedliche Werte annehmen. Eine zusätzliche Indizierung der n bzw. m durch k soll der Übersichtlichkeit wegen unterbleiben. Die getroffene Aussage gilt jedoch für alle zu verwendenden n und m gleichermaßen.

Entsprechend lassen sich auch die von den Exportanfragen herrührenden Anteile der Devisenausgaben berechnen:

$$\begin{pmatrix} p_{t,k}^1 & p_{t-1,k}^1 & \dots & p_{t-n_{105},k}^1 \\ \vdots & & & \vdots \\ p_{t+m_1,k}^1 & & \dots & p_{t+m_1-n_{105},k}^1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} s_{0,k}^{105} \\ \vdots \\ s_{n_{105},k}^{105} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{p}_{t,k}^{105} \\ \vdots \\ \bar{p}_{t+m_1,k}^{105} \end{pmatrix}$$

$n_{105}+1, k$: Komponentenzahl des Spektralvektors s^{105} der Währung k

Schließlich errechnen sich die Exportaufträge p^2 :

$$\begin{pmatrix} p_{t,k}^1 & p_{t-1,k}^1 & \dots & p_{t-n_{12},k}^1 \\ \vdots & & & \vdots \\ p_{t+m_1,k}^1 & & \dots & p_{t+m_1-n_{12},k}^1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} s_{0,k}^{12} \\ \vdots \\ s_{n_{12},k}^{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{t,k}^2 \\ \vdots \\ p_{t+m_1,k}^2 \end{pmatrix}$$

$n_{12}+1, k$: Komponentenzahl des Spektralvektors s^{12} der Währung k

Durch die drei Matrixmultiplikationen sind sämtliche von p^1 ausgehenden Prognoserechnungen erfaßt, die für den Anwendungsfall von Bedeutung sind. Eine geschlossenerere Schreibweise für diese Schätzfunktionen wird dadurch erreicht, daß man sämtliche Vektoren, die von einer bestimmten Phase ausgehen, zu einer Prozeßmatrix bezüglich der zu betrachtenden Phase zusammenfaßt. Dazu müssen die Vektoren entsprechend der Komponentenzahl des längsten Vektors mit Nullen "verlängert" werden, so daß sich für alle Vektoren die gleiche Anzahl von Komponenten ergibt, wodurch die Matrixzusammenfassung ermöglicht wird. Für die von p^1 ausgehenden Phasenübergänge ergibt sich:

$$\begin{pmatrix} p_{t,k}^1 & p_{t-1,k}^1 & \dots & p_{t-n_1,k}^1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{t+m_1,k}^1 & & \dots & p_{t+m_1-n_1,k}^1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} s_{o,k}^{12} & s_{o,k}^{14} & s_{o,k}^{1o5} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{n_{12},k}^{12} & & \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & s_{n_{14},k}^{14} & \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & s_{n_{1o5},k}^{1o5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{t,k}^2 & p_{t,k}^4 & \bar{p}_{t,k}^{o5} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{t+m_1,k}^2 & p_{t+m_1,k}^4 & \bar{p}_{t+m_1,k}^{o5} \end{pmatrix}$$

Beispielhaft ist für s^{105} die größte Komponentenanzahl angenommen, die beiden anderen Vektoren sind durch Nullen entsprechend zu "verlängern".

Die Anzahl der Perioden, für die die Exportanfragen rückwirkend noch bekannt sein müssen, ergibt sich aus:

$$n_1 = \max \begin{cases} n_{12} \\ n_{14} \\ n_{105} \end{cases}$$

In obigem Fall ist also: $n_1 = n_{105}$

In gleicher Weise lassen sich nun für alle anderen Phasen die Matrizen zur Berechnung der Prognosewerte ermitteln. So ist beispielsweise für die Exportaufträge eine Prozeßmatrix zu bilden, die aus den Vektoren s^{24} , s^{205} , s^{23} und s^{203} besteht. Sind für alle Phasen die Matrixgleichungen formuliert, so können die Prognosewerte von t ausgehend berechnet werden, wobei mit fortschreitender Phasennummer die Prognosewerte immer genauer werden bei abnehmendem Prognosezeitraum.

Es bietet sich daher an, die Deviseneinnahmen und -ausgaben stufenweise zu prognostizieren, wobei schrittweise von genaueren Prognosen und kürzeren Prognosezeiträumen zu längeren Zeiträumen, aber dafür ungenaueren Prognosen übergegangen wird. Entsprechend kann bei der Modellformulierung vorgegangen werden, indem man die Deviseneinnahmen und -ausgaben der verschiedenen "Genauigkeitsstufen" zu errechnen versucht. Dabei erhebt sich unmittelbar die Frage nach der Erfassung der Genauigkeitsstufen.

Der Prognosezeitraum, der sich bei jedem Phasenübergang ergibt, ist von der Anzahl der bekannten zukünftigen Werte

der jeweiligen Phase, sowie von den Werten der zu Anfang stehenden Komponenten des entsprechenden Spektralvektors abhängig. Denn - wie oben erläutert - können über die Anzahl der bekannten Periodenwerte hinaus für sovieler Perioden noch Prognosen abgegeben werden, wieviele Null-Komponenten der Spektralvektor von der ersten Komponente bis zur ersten von Null verschiedenen Komponente hat. Bezeichnet man mit m die zukünftigen bekannten Werte der jeweiligen Phase und mit z die Anzahl der anfänglichen Null-Komponenten, so ergibt sich der maximale Prognosezeitraum zwischen einer Phase x und der nachfolgenden Phase y :

$$m_y = m_x + z_{xy}$$

Für die Phasenfolge der Einnahmenseite ergibt sich z.B.:

$$m_4 = m_3 + z_{34}$$

Wie aus dieser Gleichung unschwer zu erkennen ist, läßt sich damit rekursiv der Prognosezeitraum jeder Phase auf die Anzahl der zukünftigen bekannten Werte der ersten Phase und den dazwischenliegenden Null-Komponenten der verschiedenen Vektoren zurückführen. Für unseren Fall läßt sich also auch schreiben:

$$m_4 = m_1 + z_{12} + z_{23} + z_{34}$$

Geht man von der Unabhängigkeit der Verteilungen aus, so bedeutet dies, daß $z_{12} + z_{23} + z_{34} = z_{14}$ ist, was durch die Faltungsoperation unmittelbar nachgewiesen werden kann. Das aber heißt, daß der Prognosezeitraum zwischen jeder beliebigen Phase und der letzten Phase (z.B. der Deviseneinnahmen) gleich groß ist. Die aufgestellte Behauptung, daß die Prognosezeiträume kürzer werden, ist unter dieser Annahme also falsch. Ist die Unabhängigkeit der Verteilungen nicht gegeben, was realiter - wie be-

reits diskutiert - angenommen werden muß, führt jedoch eine rekursive Berechnung der maximalen Prognosezeiträume zu falschen Ergebnissen. Anhand des in Abschnitt 4331. konstruierten Beispiels (vgl. S.91 f.) sind die Unterschiede klar erkennbar. Die unmittelbaren Vektoren zwischen den Phasen der "Einnahmenseite" ergaben sich zu:

$$\begin{aligned}s^{12} &= (0,03; 0,04; 0,03) \\ s^{23} &= (0,2; 0,1; 0,4; 0,3) \\ s^{34} &= (0,2; 0,4; 0,2; 0,2)\end{aligned}$$

Aufgrund der tatsächlichen Verweilzeiten ergaben sich folgende direkte Vektoren:

$$\begin{aligned}s^{14} &= (0; 0; 0; 0,02; 0,04; 0,04) \\ s^{24} &= (0; 0; 0; 0,8; 0,2)\end{aligned}$$

Wie direkt ablesbar ist:

$$z_{12} + z_{23} + z_{34} = 0 \neq z_{14} = 3$$

Unabhängig von den zukünftigen bekannten Größen von p^1 bleibt der durch Faltung errechnete Prognosezeitraum für alle Phasen unverändert. Durch die Vektoren gemäß den tatsächlichen Verweilzeiten ergibt sich jedoch ein um 3 Perioden verlängerter Prognosezeitraum.

Für die Bemessung der "Genauigkeitsstufen" kann also eine rekursive Ermittlung der Prognosezeiträume nicht verwendet werden. Vielmehr wird bei der Anwendung empirischer Verteilungen in praxi zu entscheiden sein, welcher Prognosezeitraum unter entsprechenden Anforderungen an die Genauigkeit für die einzelnen Phasen als sinnvoll und praktikabel angesehen werden kann. Bei der Abgrenzung der zur Berechnung der Deviseneinnahmen und -ausgaben

notwendigen Prognosezeiträume soll daher von - theoretisch nicht voll befriedigenden - möglichen Prognosezeiträumen ausgegangen werden, die durch die Anzahl der zukünftigen und unter den entsprechenden Genauigkeitserfordernissen feststellbaren Größen der einzelnen Phasen bestimmt werden.

Für die Berechnung der Deviseneinnahmen ist dann zunächst von den Devisenforderungen auszugehen, die die genauesten Prognoseergebnisse liefern und somit eine sinnvolle Korrektur früher errechneter Werte ermöglichen werden. Entsprechend der Bezeichnungen wird der durch die Devisenforderungen mögliche Prognosezeitraum mit m_3 gekennzeichnet:

$$\begin{bmatrix} p_{t,k}^4 \\ \vdots \\ p_{t+m_3,k}^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{t,k}^3 & p_{t-1,k}^3 & \dots & p_{t-n_{34},k}^3 \\ \vdots & & & \vdots \\ p_{t+m_3,k}^3 & & \dots & p_{t+m_3-n_{34},k}^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{o,k}^{34} \\ \vdots \\ s_{n_{34},k}^{34} \end{bmatrix}$$

Damit sind die relativ genauesten Prognosen der Deviseneinnahmen für die Perioden t bis $t+m_3$ festgelegt. Zur Prognose späterer Periodeneinnahmen muß nun von den Exportaufträgen ausgegangen werden. Der Prognosezeitraum der Exportaufträge wird mit m_2 angegeben, wobei $m_2 > m_3$ ist, so daß sich die weiteren Prognosen der Deviseneinnahmen auf die Perioden $t + m_3 + 1$ bis $t + m_2$ erstrecken:

$$\begin{bmatrix} p_{t+m_3+1,k}^4 \\ \vdots \\ p_{t+m_2,k}^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{t+m_3+1,k}^2 & p_{t+m_3,k}^2 & \dots & p_{t+m_3+1-n_{24},k}^2 \\ \vdots & & & \vdots \\ p_{t+m_2,k}^2 & & \dots & p_{t+m_2-n_{24},k}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{o,k}^{24} \\ \vdots \\ s_{n_{24},k}^{24} \end{bmatrix}$$

Prognosen, die über den Zeitraum $t + m_2$ hinausreichen, können schließlich noch aufgrund der Exportanfragen abgegeben werden, mit einem Prognosezeitraum von $t + m_1$, wobei $m_1 > m_2$ ist:

$$\begin{bmatrix} p_{t+m_2+1,k}^4 \\ \vdots \\ p_{t+m_1,k}^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{t+m_2+1,k}^1 & p_{t+m_2,k}^1 & \cdots & p_{t+m_2+1-n_1,k}^1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{t+m_1,k}^1 & \cdots & p_{t+m_1-n_1,k}^1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{0,k}^{14} \\ \vdots \\ s_{n_1,k}^{14} \end{bmatrix}$$

Damit sind die Deviseneinnahmen für den größtmöglichen Prognosezeitraum t bis $t + m_1$ berechnet, wobei durch das stufenweise Vorgehen erreicht wird, daß die Prognosewerte immer auf den bestmöglichen Ausgangsdaten beruhen. Unter Beachtung der $k = 1, \dots, l$ verschiedenen zu betrachtenden Währungen ergeben sich dann insgesamt $l \cdot (m_1 + 1)$ verschiedene Prognosewerte für die Deviseneinnahmen:

$$p_{t,k}^4 = \begin{bmatrix} p_{t,1}^4 & p_{t,2}^4 & \cdots & p_{t,l}^4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{t+m_1,1}^4 & \cdots & p_{t+m_1,l}^4 \end{bmatrix}$$

für $t = t, \dots, t + m_1$

und $k = 1, \dots, l$

In gleicher Weise muß nun bei der Schätzung der Devisenausgaben vorgegangen werden, wobei noch die Besonderheit der Verzweigung der beiden Phasenfolgen zu berücksichtigen ist. Gemäß obiger Argumentation wird hier ebenfalls von möglichen Prognosezeiträumen ausgegangen, die in diesem Fall jedoch sowohl von den Exportanfragen als auch von

den Inlandsanfragen geprägt sind. Eine Bestimmung entsprechend der Faltungsoperation ist hier auch nur unter der Bedingung unabhängiger Verweilzeiten möglich, weswegen nicht näher darauf eingegangen werden soll.

Da für die Kurssicherung nur die Gesamtausgaben pro Periode von Interesse sind, können die beiden Anteile jeder Phase gleich addiert werden:

$$\begin{aligned} p^{o5} &= \bar{p}^{o5} + \bar{\bar{p}}^{o5} \\ p^{o4} &= \bar{p}^{o4} + \bar{\bar{p}}^{o4} \\ p^{o3} &= \bar{p}^{o3} + \bar{\bar{p}}^{o3} \end{aligned}$$

Da die Prognose der beiden Anteile auf unterschiedlichen Daten basieren, werden auch die möglichen Prognosezeiträume pro Periode verschieden sein, d.h. z.B. $\bar{m}_{o4} \neq \bar{\bar{m}}_{o4}$. Um trotzdem eine einheitliche Bezeichnung zu erhalten, muß gefordert werden:

$$m_{o4} = \min \begin{cases} \bar{m}_{o4} \\ \bar{\bar{m}}_{o4} \end{cases}$$

Wird diese Beziehung bei allen Phasen gleichermaßen festgelegt, so kann nach gleichen Maßstäben bei beiden Anteilen vorgegangen werden, und es bedarf bei den letzten drei Phasen keiner getrennten Betrachtung.

Zunächst sind also die Devisenausgaben aus den Devisenverbindlichkeiten zu schätzen:

$$\begin{bmatrix} p_{t,k}^{o5} \\ \vdots \\ p_{t+m_{o4},k}^{o5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{t,k}^{o4} & p_{t-1,k}^{o4} & \cdots & p_{t-n_{o45},k}^{o4} \\ \vdots & & & \vdots \\ p_{t+m_{o4},k}^{o4} & & \cdots & p_{t+m_{o4}-n_{o45},k}^{o4} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{o,k}^{o45} \\ \vdots \\ s_{n_{o45},k}^{o45} \end{bmatrix}$$

Dieser "genaueste" Prognosezeitraum der Devisenausgaben muß mit dem der Deviseneinnahmen keineswegs identisch sein, was auch für die nachfolgenden Phasenübergänge gilt. Die nächste Prognose basiert auf p^{o3} mit dem Gesamtzeitraum m_{o3} , wobei $m_{o3} > m_{o4}$ ist:

$$\begin{bmatrix} p_{t+m_{o4}+1,k}^{o5} \\ \vdots \\ p_{t+m_{o3},k}^{o5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{t+m_{o4}+1,k}^{o3} & p_{t+m_{o4},k}^{o3} & \cdots & p_{t+m_{o4}+1-n_{o35},k}^{o3} \\ \vdots & & & \vdots \\ p_{t+m_{o3},k}^{o3} & & \cdots & p_{t+m_{o3}-n_{o35},k}^{o3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{o,k}^{o35} \\ \vdots \\ s_{n_{o35},k}^{o35} \end{bmatrix}$$

Wenngleich die Phasen p^{o3} bis p^{o5} aus zwei Anteilen bestehen, können diese doch pro Periode und Währung additiv zusammengefaßt werden. Die Ausgangsgrößen p^2 und p^{o2} , die zur Schätzung der Devisenausgaben beim nächstgrößeren Prognosezeitraum heranzuziehen sind, können dagegen nicht mehr überlagert werden. Die beiden Komponenten sind getrennt zu ermitteln und können dann pro Periode addiert werden. Um dennoch einen gemeinsamen möglichen Prognosezeitraum m_2^* erhalten zu können, muß die Bedingung erfüllt sein:

$$m_2^* = \min \begin{cases} m_{o2} \\ m_2 \end{cases}$$

(m_2 , m_{o2} sind die möglichen Prognosezeiträume der Phasen p^2 und p^{o2})

Die Prognose auf der Basis dieser Ausgangsgrößen erstreckt sich damit auf den Zeitraum $t+m_{o3} + 1$ bis $t+m_2^*$. Die entsprechenden Werte der Devisenausgaben ergeben sich dann aus der Addition der beiden Matrizen:

$$\begin{bmatrix} p_{t+m_{o3}+1,k}^{o5} \\ \vdots \\ p_{t+m_2,k}^{o5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{t+m_{o3}+1,k}^2 & p_{t+m_{o3},k}^2 & \cdots & p_{t+m_{o3}+1-n_{2o5},k}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{t+m_2,k}^2 & \cdots & p_{t+m_2^*-n_{2o5},k}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{o,k}^{2o5} \\ \vdots \\ s_{n_{2o5},k}^{2o5} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_{t+m_{o3}+1,k}^{o2} & p_{t+m_{o3},k}^{o2} & \cdots & p_{t+m_{o3}+1-n_{o25},k}^{o2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{t+m_2,k}^{o2} & \cdots & p_{t+m_2^*-n_{o25},k}^{o2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{o,k}^{o25} \\ \vdots \\ s_{n_{o25},k}^{o25} \end{bmatrix}$$

Für die Schätzung der Devisenausgaben aus den Export- und Inlandsanfragen gilt das für die Phasen p^2 und p^{o2} Gesagte entsprechend. Der gemeinsame mögliche Prognosezeitraum m_1^* ergibt sich aus der Beziehung:

$$m_1^* = \min \left\{ \begin{matrix} m_{o1} \\ m_1 \end{matrix} \right.$$

Damit erhält man den Zeitraum $t+m_2^*+1$ bis $t+m_1^*$ für die Schätzung der Devisenausgaben aus Export- und Inlandsanfragen, wodurch der weiteste Termin für die Schätzung der Devisenausgaben erfaßt ist. Die Werte der Devisenausgaben für diesen Zeitraum errechnen sich aus der Addition:

$$\begin{bmatrix} p_{t+m_2^*+1,k}^{o5} \\ \vdots \\ p_{t+m_1,k}^{o5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{t+m_2^*+1,k}^1 & p_{t+m_2^*,k}^1 & \cdots & p_{t+m_2^*+1-n_{1o5},k}^1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{t+m_1,k}^1 & \cdots & p_{t+m_1^*-n_{1o5},k}^1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{o,k}^{1o5} \\ \vdots \\ s_{n_{1o5},k}^{1o5} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_{t+m_2^*+1,k}^{o1} & p_{t+m_2^*,k}^{o1} & \cdots & p_{t+m_2^*+1-n_{o15},k}^{o1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{t+m_1,k}^{o1} & \cdots & p_{t+m_1^*-n_{o15},k}^{o1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{o,k}^{o15} \\ \vdots \\ s_{n_{o15},k}^{o15} \end{bmatrix}$$

Unter Berücksichtigung der jeweils günstigsten Ausgangsdaten können mit den dargestellten Matrixgleichungen die Devisenausgaben für die Termine t bis $t+m_1^*$ berechnet werden. Werden zusätzlich noch die verschiedenen Währungen einbezogen, so ergibt sich die Matrix der Devisenausgaben für die Termine und Währungen:

$$p_{t,k}^{o5} = \begin{pmatrix} p_{t,1}^{o5} & p_{t,2}^{o5} & \dots & p_{t,1}^{o5} \\ \vdots & & & \vdots \\ p_{t+m_1^*,1}^{o5} & & \dots & p_{t+m_1^*,1}^{o5} \end{pmatrix}$$

für alle $t = t, \dots, t + m_1^*$
und alle $k = 1, \dots, 1$

Durch die Matrix der Deviseneinnahmen P^4 und der Devisenausgaben p^{o5} sind nun sämtliche Prognosewerte für die $k = 1, \dots, 1$ Währungen und die Zeiträume t bis $t + m_1$ bzw. t bis $t + m_1^*$ festgelegt. Um den ausschließlich interessierenden Devisensaldo pro Periode und Währung ermitteln zu können, müssen die Werte entsprechend saldiert werden. Dabei kann allerdings nur der kürzere der beiden Prognosezeiträume herangezogen werden, da sonst entweder die Deviseneinnahmen oder die Devisenausgaben noch nicht vorliegen. Die zukünftigen Perioden, für die eine Saldenprognose möglich ist, bestimmt sich also zu:

$$m = \min \begin{cases} m_1^* \\ m_1 \end{cases}$$

Liegen für diesen Zeitraum auch die Werte der "sonstigen Devisenaktiva und -passiva" vor, so können für den Zeitraum t bis $t + m$ in Analogie zu der in Abschnitt 41. dargestellten "Bestimmungsgleichung" die Gesamtsalden pro Periode und Währung errechnet werden:

$$\hat{S}_{t,k} = (p_{t,k}^4 - p_{t,k}^{o5}) + (da_{t,k} - dp_{t,k})$$

für $t = t, \dots, t + m$ und $k = 1, \dots, 1$

(Der Saldo ist für Aktivsalden positiv, negativ für Passivsalden)

Damit liegt ein Rechenformalismus vor, der es erlaubt, unter oben beschriebenen Bedingungen die Salden der Devisenaktiva und -passiva pro Währung und Periode innerhalb eines bestimmten Prognosezeitraums zu schätzen, wobei die Prognose stufenweise auf den jeweils "besten" Ausgangsdaten beruht. Dadurch wird es möglich, auf weitere Zeiträume und mit größerer Genauigkeit Kurssicherungsgeschäfte zu tätigen, um das Kursrisiko, das sich aus dem mit dem Auslandsge-
schäft verbundenen Devisengeschäft ergibt, einzuschränken. Da das Modell nicht auf ein spezielles Unternehmen ausgerichtet werden konnte, wurde der allgemeine Fall eines
Fertigungsbetriebes unterstellt, der sich auch problemlos auf Handelsbetriebe übertragen läßt. Bei der Modellkonzeption konnten daher auch nur generelle Probleme angesprochen werden, die in einem konkreten Anwendungsfall noch vieler
Korrekturen und Erweiterungen bedürfen werden. Insoweit konnte hier nur ein allgemeiner Ansatz zur Prognose der
Deviseneinnahmen und -ausgaben aufgestellt werden, der in keiner Weise den Anspruch auf Vollkommenheit erhebt und insofern mehr von einem programmatischen Charakter geprägt ist.

443. Zusammenfassung

In Abschnitt 44. wurde versucht, die in Abschnitt 43. vorgestellte Prognosemethode auf die Schätzung der Deviseneinnahmen und -ausgaben zu übertragen. Bevor mit der eigentlichen Modellformulierung begonnen werden konnte, wurden die für den Anwendungsfall wichtigen Fragen der unterschiedlichen Strukturen von Spektralvektoren, der Berücksichtigung evtl. Vorauszahlungsvereinbarungen sowie der Ausgangspunkt der Prognose besprochen (vgl. 441.).

Wie aus dem Phasenschema zu entnehmen ist, existieren Phasenübergänge, die von dem jeweiligen Unternehmen sehr stark beeinflußt werden können (z.B. Devisenverbindlichkeiten $\longrightarrow$ Devisenausgaben) und solche, die primär von den ausländischen Geschäftspartnern geprägt werden (z.B. Devisenforderungen $\longrightarrow$ Deviseneinnahmen). Da in beiden Fällen eine völlige Determiniertheit nicht unterstellt werden muß, gingen wir bei allen zu betrachtenden Phasenübergängen von einem stochastischen Übergangsverhalten aus, so daß eine einheitliche Formulierung möglich wurde. Unterschiedliche Konditionengestaltung, verschiedenartige Kundenstrukturen und Fertigungsverfahren - um nur einige Beispiele zu nennen - können jedoch die quantitativen Strukturen der Verweilzeitverteilungen beeinflussen, was bei einem konkreten Anwendungsfall berücksichtigt werden muß. Insbesondere muß die Möglichkeit bestehen, für die verschiedenen Währungsgebiete eigene Verteilungen aufzustellen, was bei der Modellformulierung eingeplant wurde. Die vielen, ständigen Änderungen unterworfenen wirtschaftlichen Einflußfaktoren, die hier auch den internationalen Bereich umfassen, werden eine Änderung des Übergangsverhaltens im Zeitablauf bewirken, so daß für die Verweilzeitverteilungen lediglich eine zeitlich begrenzte Stationarität unterstellt werden konnte. Das Modell muß somit die Möglichkeit beinhalten, daß die Verteilungen den sich ändernden Übergangsgesetzmäßigkeiten angepaßt werden können.

Vereinbarungen über Vorauszahlungen können gerade im internationalen Geschäftsbereich von großer Bedeutung sein. Die vorgestellte Modellkonzeption bietet eine solche Erfassungsmöglichkeit, ohne daß dazu eine besondere Formulierung notwendig wird.

Wie aus dem Ablaufschema ersichtlich ist, leiten sich die Prognosen nachgelagerter Phasen aus denen früherer Phasen ab. Um aus den Export- und Inlandsanfragen Prognosen für

mehrere Perioden abgeben zu können, müssen für die Anfragen auch Werte zukünftiger Perioden vorliegen. Im Gegensatz zu den anderen Phasen können diese Werte aus dem Ablaufschema selbst nicht mehr gewonnen werden, da ein zyklischer Phasenaufbau nicht angenommen werden kann. Die Schätzgrößen müssen mittels anderer Prognoseverfahren (z.B. Trendrechnung oder Exponentielles Glätten) ermittelt werden, worauf im Rahmen dieser Arbeit aus den in Abschnitt 4413. genannten Gründen nicht eingegangen wurde.

Um das Prognosemodell formelmäßig in seinem Gesamtzusammenhang beschreiben zu können, mußte zunächst die Symbolik für die Phasen und Vektoren verallgemeinert werden. Die in Abschnitt 4421. gewählte Bezeichnungsweise gewährleistet die eindeutige Kennzeichnung aller möglichen Phasenverbindungen und schafft damit die Voraussetzung für die Formulierung des Gesamtmodells. Anhand der Abbildungen 14 a bis 14 d, 15 a und 15 b wurde versucht, die prinzipielle Vorgehensweise der Prognose der Deviseneinnahmen und -ausgaben vorzuführen. Besondere Bedeutung wurde den verschiedenen Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten beigemessen sowie der Notwendigkeit, daß die Prognosen jeweils auf den genauesten Ausgangsgrößen basieren. Entsprechend dieser Vorgehensweise wurden in Abschnitt 4422. die Phasenübergänge durch Matrizengleichungen beschrieben. Da eine Faltung der Einzelverteilungen aus genannten Gründen nicht vorgenommen werden kann, wurden von den verschiedenen Phasen ausgehend die Deviseneinnahmen und -ausgaben zukünftiger Perioden mittels empirischer Verteilungen berechnet. Durch das schrittweise Übergehen von späteren Phasen zu früheren Phasen erreicht man, daß die Prognosen entsprechend dem Prognosezeitraum immer auf den genauesten Daten beruhen, wobei mit zunehmendem Prognosezeitraum die Ausgangsdaten ungenauer werden. Nach Abstimmung der Prognosezeiträume für die Deviseneinnahmen und die Devisenausgaben, die sich zunächst nicht entsprechen müssen, lassen sich die Devisensalden pro Währung und Periode berechnen.

Unter Hinzufügung der als bekannt angenommenen sonstigen Devisenaktiva und -passiva ermöglicht dieser Rechenformalismus die Bestimmung der Devisengesamtsalden der Unternehmung, die über geeignete Kurssicherungsmaßnahmen auszugleichen sind.

5. Möglichkeiten der Prognoseüberwachung und Prognoseverbesserung

51. Vorbemerkungen

Gleichgültig, wie umfangreich ein Prognosemodell ausgestattet ist und wie genau die Abläufe der Realität abgebildet werden, die errechneten Prognosewerte werden immer mehr oder minder stark von den realisierten Werten abweichen. Dabei wird ein sehr kompliziert konzipiertes Modell, in dem eine Vielzahl von Daten bei langen Erhebungszeiträumen verarbeitet sind, eventuell zu relativ geringeren Prognosefehlern führen, was allerdings über einen entsprechend höheren Prognoseaufwand erkaufte werden muß. Rein qualitativ kann ein allgemeiner Zusammenhang zwischen Prognoseaufwand und Prognosegenauigkeit aufgezeigt werden:

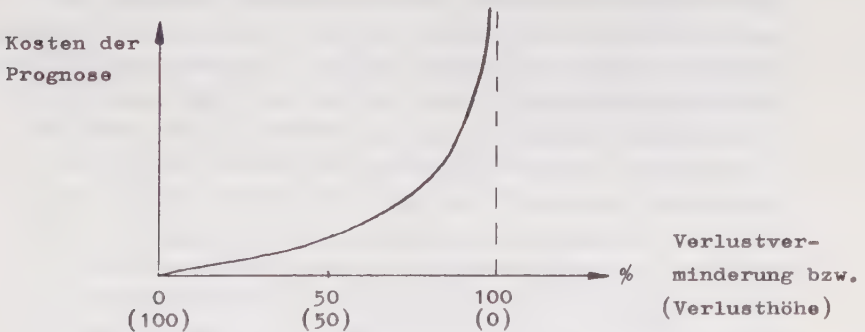


Abb. 16: Die Abhängigkeit der Prognosekosten von der Höhe des Prognosefehlers

Werden überhaupt keine Prognosen gestellt, so sind die Kosten Null unter der Voraussetzung, daß auch kein Prognoserechnungssystem im Aufbau ist. Für unseren Fall bedeutet dies, daß Kursverluste bei den Deviseneinnahmen

und -ausgaben in bestimmter Höhe entstehen werden, wobei die Verlusthöhe allgemein 100% gesetzt wird. Werden Prognoserechnungen vorgenommen, so werden die Verluste - vorausgesetzt die Prognosen sind tendenziell richtig - schon beim Einsatz relativ geringer Mittel stark zu reduzieren sein. Auf der anderen Seite wird man jedoch auch nicht mit dem Einsatz noch so vieler Anstrengungen eine völlige Verlustfreiheit erreichen können, so daß unabhängig vom Prognosesystem immer Abweichungen auftreten werden. In unserem Fall sind allerdings neben den Verlusten auch die Gewinne zu berücksichtigen. Gewinne, die ohne beabsichtigte Devisenspekulation erzielt werden, werden jedoch ohne Prognose tendenziell auch größer sein als mit Prognose. Die Prognose der Devisensalden und die Durchführung entsprechender Kurssicherungsgeschäfte werden insgesamt eine dämpfende Wirkung auf Gewinne und Verluste der Devisengeschäfte haben. Insofern sind bei diesem Modell neben den Verlusten und dem Aufwand auch die Gewinne bei der Ermittlung des "optimalen" Prognoseeinsatzes zu berücksichtigen. Es würde über den Rahmen der Arbeit weit hinausgehen, wollte man diese Fragestellung im einzelnen ausdiskutieren; da jedoch ein unmittelbarer Zusammenhang zu den Prognosefehlern besteht, sollte die Problematik zumindest kurz angesprochen werden.

Das oben vorgestellte Prognosemodell erlaubt es, daß in jeder Periode und bei allen Phasen die Prognosewerte überprüft und korrigiert werden können. Dabei können zunächst für die Planwerte die bis dahin realisierten Ist-Werte auf allen Phasenebenen eingesetzt werden; des weiteren ist es auch möglich, die Spektralvektoren, die neben den Ausgangsgrößen in gleichem Maße die Prognosequalität beeinflussen, zu korrigieren, sofern eine Änderung im Übergangsverhalten eingetreten ist. Sämtliche Vektoren, die aufgrund der unterschiedlichen Prognosezeiträume z.B. zur Prognose der Devisen-

einnahmen führen, sind dann zu verändern, wobei die Korrektur der einzelnen Vektoren durch ihre unterschiedliche Komponentenzahl und -werte auch verschiedene Veränderungen hervorruft. Das bedeutet, daß jeder Vektor einzeln an das veränderte Übergangsverhalten zwischen den Phasen, die er verbindet, angepaßt werden muß, wobei jedoch auf alle Vektoren die gleiche Systematik zur Korrektur ihrer Komponenten angewendet werden kann. Dadurch wird es möglich, die Methoden zur Prognoseüberwachung und Prognoseverbesserung beispielhaft für einen Phasenübergang bzw. Spektralvektor vorzustellen, wodurch sich die Betrachtung der gesamten verzweigten Phasenfolge gemäß dem Ablaufschema erübrigt. Die dargestellten Möglichkeiten sind entsprechend auf alle anderen Phasen und Vektoren übertragbar.

Anhand des Phasenübergangs Devisenforderungen $\longrightarrow$ Deviseneinnahmen soll die Vorgehensweise demonstriert werden. Zur Vereinfachung und größeren Übersichtlichkeit der Darstellung kann - wegen der Vernachlässigung der anderen Phasen - wieder zu einer anschaulicheren Symbolik übergegangen werden, wobei auf die Währungsindizes verzichtet werden soll:

f_{t+j-i} : Devisenforderungen der Periode $t+j-i$

$\overset{*}{e}_{t+j}$: Schätzwerte für die Deviseneinnahmen der Perioden $t + j$

e_{t-i}^* : Eingetretene Deviseneinnahmen der Perioden $t-i^*$

s_i : Komponenten des Spektralvektors zwischen den Phasen Devisenforderungen $\longrightarrow$ Deviseneinnahmen

$i = 0, 1, \dots, n$

$i^* = 0, 1, \dots, n^*$

$j = 0, 1, \dots, m$

$n + 1$: Komponentenzahl des Spektralvektors

Während bei dem Prognosemodell lediglich die zukünftigen und die gegenwärtigen Werte der Deviseneinnahmen für die verschiedenen Währungen von Interesse waren, sind zur Überprüfung des Modells rückwirkend die Werte $t - i^*$ der Deviseneinnahmen von Bedeutung. Für den Zeitraum n^* liegen darmsowohl die Plan- als auch Ist-Größen vor, wodurch eine Messung der Abweichungen und somit eine Beurteilung der Prognosequalität erst ermöglicht wird. Die Abweichungen der Perioden $t - i^*$ lassen sich dann ermitteln:

$$d_{t - i^*} = \hat{e}_{t - i^*} - e_{t - i^*}$$

Nun werden in jeder untersuchten Periode Prognosefehler¹⁾ feststellbar sein, da kaum anzunehmen ist, daß die Deviseneinnahmen auf die jeweilige Währungseinheit genau vorausberechnet werden können. Weil die Revision des Prognosemodells ebenfalls mit Kosten verbunden ist, wird es nicht sinnvoll sein, schon bei der "kleinsten" Abweichung eine Korrektur des Prognosemodells vorzunehmen. Über geeignete Maßzahlen müssen also zunächst die Fehler selbst beurteilt werden, um auf deren Schwere und eine eventuell notwendig werdende Modellrevision schließen zu können. Allgemein kann hier schon festgestellt werden, daß eine Modellkorrektur erst dann sinnvoll ist, wenn die dadurch verhinderten Verluste größer sind als die zusätzlichen Kosten.

1) Zu der Charakterisierung von Prognosefehlern schreibt R. Brown, a.a.O., S. 271: "The word error is used in its mathematical, rather than its moral sense. The forecast error is merely the difference between the forecast and the (later) actual observation".

52. Fehlerarten und Maßzahlen zu deren Beurteilung

521. Fehlerarten

Prinzipiell lassen sich zwei Fehlerkategorien unterscheiden: Die systematischen Fehler und die zufälligen Fehler¹⁾:

Ein systematischer Fehler liegt vor, wenn z.B. die Deviseneinnahmen im Zeitablauf ständig überschätzt werden. Dazu ist zu bemerken, daß eine Überschätzung oder Unterschätzung der Prognosewerte über den gesamten Anwendungszeitraum des Modells bei der Prognose mittels Verweilzeiten theoretisch ausgeschlossen ist, da aufgrund der Komponentensumme alle Inputwerte betragsmäßig auch zu Outputwerten führen. Eine Ausnahme davon kann nur dadurch gegeben sein, daß wegen einer generellen Fehleinschätzung z.B. der Debitorenausfälle und der Inanspruchnahme angebotener Skontoabzüge die Komponentensumme als zu hoch oder zu niedrig bemessen wird. Abgesehen davon können jedoch innerhalb kürzerer Zeitintervalle durchaus systematische Fehler auftreten, wenn sich etwa infolge zins- und liquiditätsmäßiger Veränderungen in einem bestimmten Land die Zahlungsgewohnheiten dieser ausländischen Kundschaft tendenziell ändern. Werden z.B. die Forderungen schneller beglichen als dies in dem bestehenden Liquidationsspektrum zum Ausdruck kommt, so werden über einen gewissen Zeitraum hinweg die Deviseneinnahmen insgesamt unterschätzt. Schließlich soll ein Beispiel aus der Meßtechnik die systematischen Fehler abschließend charakterisieren: "Differiert eine 5 m lange Meßlatte infolge Abnutzung um $1/2$ mm von ihrem Sollwert, so wirkt sich dies bei einer 1 km langen Strecke bereits um 10 cm aus. Eine solche Differenz ist bei der Basismessung in

1) Vgl. M. Fisz, Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, 5. Aufl., Berlin 1970, S. 587; L. Neumeyer, a.a.O., S. 31 ff.

der Landestriangulation untragbar. Derartige kleine Abweichungen, die die Ergebnisse aller Messungen einer bestimmten Größe mit einer bestimmten Meßmethode in der gleichen Weise verfälschen, werden als konstante, regelmäßige oder systematische Fehler bezeichnet".¹⁾

Demgegenüber führen die zufälligen Fehler zu unregelmäßigen Abweichungen von den Ist-Größen, wobei die Fehler vorzeichenmäßig und betragsmäßig alternieren können. Ein verstärktes Auftreten zufälliger Fehler könnte z.B. darin begründet sein, daß bei der Saldenprognose auf der Basis von Werktagen wegen einer relativ geringen Geschäftstätigkeit in der betreffenden Währung nur sehr ungenaue Tagesprognosen zu treffen sind, obwohl die Verweilzeitverteilungen den Zusammenhang prinzipiell richtig widerspiegeln. Eine Aggregierung der Tagessalden für längere Zeitintervalle - z.B. Wochenperioden - könnte in diesem Fall zu einem weitgehenden Ausgleich der zufälligen Fehler auf Tagesbasis führen. Wie oben bereits dargelegt, wird die Prognosequalität insgesamt durch die Anzahl der auftretenden Ereignisse entscheidend beeinflusst.

Die Wirkung von zufälligen und systematischen Fehlern läßt sich darstellen, indem man die Ist- und Plan-Größen für aufeinanderfolgende Perioden addiert und in einem Wert-Zeit-Diagramm aufzeichnet. Das Kumulieren der Werte ermöglicht dabei ein besseres Erkennen der systematischen und zufälligen Fehler. Zur Demonstration soll ein Zahlenbeispiel dienen, dem die Werte von 12 aufeinanderfolgenden Perioden zugrundegelegt werden. Dabei werden 12 realisierte Werte angenommen und jeweils eine Zeitreihe aufgestellt, durch die die systematischen und die zufälligen Fehler deutlich hervorgehoben werden.

1) E. Kreyszig, a.a.O., S. 325

Perioden	Realisier- te Werte	Prognose- werte 1	Prognose- werte 2	Prognose- fehler 1	Prognose- fehler 2
1	800	880	790	+ 80	- 10
2	820	900	850	+ 80	+ 30
3	810	800	750	- 10	- 60
4	790	710	870	- 80	+ 80
5	830	720	960	- 110	+ 130
6	800	700	940	- 100	+ 140
7	760	720	800	- 40	+ 40
8	770	900	860	+ 130	+ 90
9	850	950	980	+ 100	+ 130
10	760	810	850	+ 50	+ 90
11	790	810	910	+ 20	+ 120
12	740	620	890	- 120	+ 150
Summe	9520	9520	10450	$\pm$ 0	+ 930

Tab. 3: Zahlenwerte zur Demonstration von systematischen und zufälligen Fehlern

Die in der Tabelle 3 angegebenen Prognosewerte pro Periode sind in Abb. 17 kumuliert aufgetragen, wodurch die Abweichungen im Zeitablauf sehr deutlich hervortreten.

Durch den gewählten Maßstab sind die Kurven relativ langgestreckt, weshalb die Einzelabweichungen gegenüber der tendenziellen Entwicklung etwas in den Hintergrund geraten, und eine größere Übersichtlichkeit erreicht wird.

Wie aus der Abbildung unmittelbar ersichtlich ist, oszil-

liert die Kurve der Schätzwerte 1 im Zeitablauf um die der bereits eingetretenen Ist-Werte. Der anfänglichen Überschätzung folgt eine Unterschätzung usw.. Demgegenüber entfernt sich die Kurve der Schätzwerte 2 nach anfänglich guten Prognosewerten tendenziell, so daß sich in der 12. Periode eine kumulierte Überschätzung von 930 WE ergibt, was mehr als dem Mittelwert der realisierten Werte entspricht. Meist lassen sich die tendenziellen und zufälligen Fehlerarten nicht so klar auseinanderhalten, wie dies hier eventuell zum Ausdruck gekommen sein mag. Vielmehr wird sich der Gesamtfehler aus beiden Komponenten zusammensetzen, die sich sowohl verstärken als auch teilweise kompensieren können, wodurch ein systematischer Fehler verschleiert werden kann.

Neben der in Abb. 17 gewählten Darstellungsweise ist es möglich, zur Beurteilung der Prognosequalität lediglich die Abweichungen in den verschiedenen Perioden zu erfassen (Abb. 18). Die in der Tabelle errechneten Prognosefehler der beiden Zeitreihen 1 und 2 lassen sich dazu in ähnlicher Weise in einer Graphik darstellen. Im Gegensatz zu Abb. 17 treten in Abb. 18 die Prognosefehler sehr deutlich zutage, da die Glättung der Prognosefehler, die durch die Addition der Werte entsteht und durch den gewählten Maßstab noch unterstrichen wird, entfällt. Des weiteren wird hier sichtbar, daß die Prognosefehler 2 neben der deutlichen tendenziellen Überschätzung der realisierten Werte auch Fehler enthalten, die als zufällig zu bezeichnen sind.

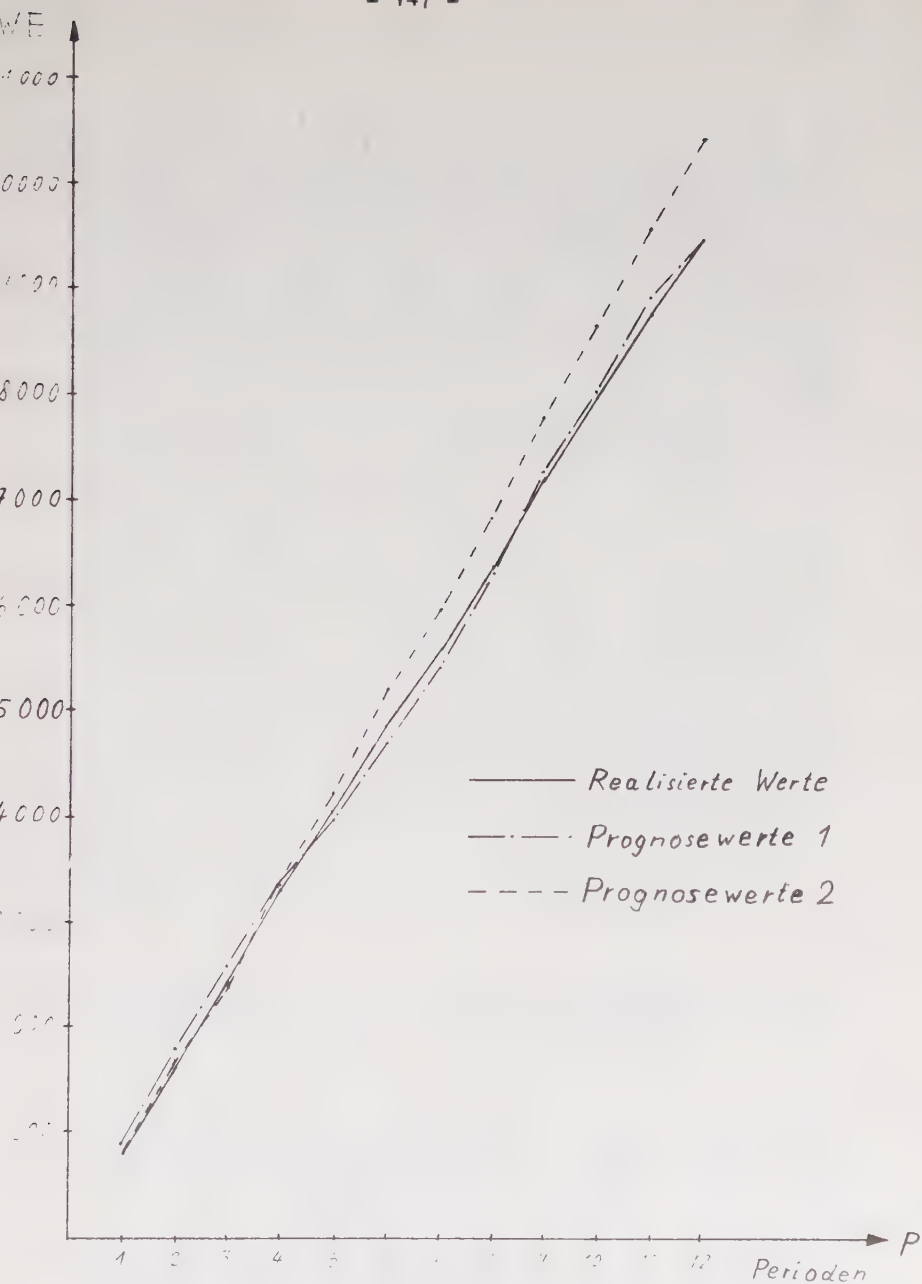


Abb. 17: Kumulierte Ist- und Plan-Werte über den Zeitraum von 12 Perioden

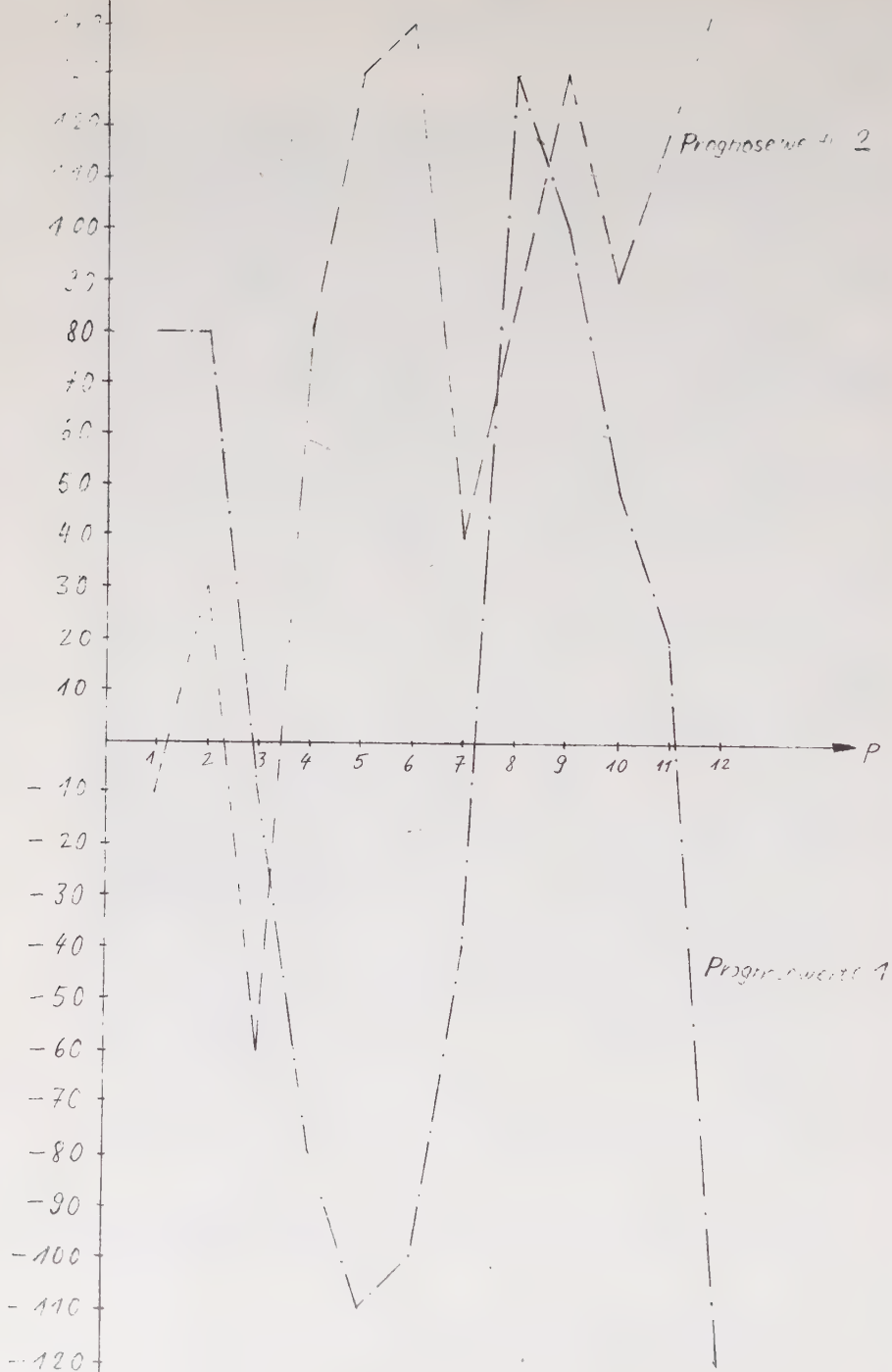


Abb. 18: Abweichungen der Prognosewerte 1 und 2 im Zeitablauf über 12 Perioden

Wie aus Tab. 3 und aus Abb. 17 unmittelbar ersichtlich ist, sind die kumulierten Größen der realisierten Werte und der Prognosewerte 1 gleich groß, was auch darin zum Ausdruck kommt, daß die Summe der Abweichungen über alle 12 Perioden Null ist. Der Mittelwert¹⁾ beider Zeitreihen errechnet sich zu 793,33 WE und muß bei dieser Wertekonstellation gleich sein. Dennoch unterscheiden sich die beiden Zeitreihen doch sehr erheblich, und es können trotz der sich im Zeitablauf ausgleichenden Abweichungen je nach Entwicklung der Devisenkurse Kursverluste entstehen. Zur weiteren Charakterisierung der Zeitreihen kann noch die Standardabweichung²⁾ der Werte berechnet werden, wobei sich für die realisierten Werte eine Größe von 32,0379 WE und für die Prognosewerte 1 eine Größe von 100,845 WE ergibt. Hierin kommt die wesentlich größere Variationsbreite der Prognosewerte 1 zum Ausdruck. Entsprechend errechnet sich für die Prognosewerte 2 der Mittelwert zu 870,833 WE und die Standardabweichung zu 69,865 WE. Obwohl das Dispersionsmaß geringer ist als das der Prognosewerte 1, liegt es doch noch erheblich über dem der realisierten Werte, wodurch die größeren Schwankungen, die eben auch als Zufallsfehler interpretiert werden können, zum Ausdruck kommen. Der erhöhte Mittelwert signalisiert außerdem die tendenzielle Überschätzung durch die Prognosewerte 2.

-
- 1) Bezeichnet man mit $x_1, x_2, \dots, x_n$ die Elemente einer Zeitreihe, so berechnet sich deren Mittelwert:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 37

- 2) Unter Verwendung der gleichen Bezeichnungen errechnet sich die Standardabweichung:

$$s = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 38

Sind bei einer Zeitreihe alle Glieder gleich groß, so ist $x_j = \bar{x}$ und die Standardabweichung wird Null. Je mehr also die einzelnen Elemente um den Mittelwert schwanken, desto größer wird die Standardabweichung der Zeitreihe.

Wie die Abbildungen 17 und 18 zeigen, kann anhand der Kurven schon ein Anhaltspunkt für die Beurteilung der Prognosewerte gefunden werden. "Häufig enthüllt schon das Verlaufsdiagramm der Abweichungszeitreihe, daß die Modellparameter das System nicht oder nicht mehr hinreichend gut beschreiben. Darauf darf man dann schließen, wenn die Abweichungen

1. um einen deutlich von Null verschiedenen konstanten Mittelwert oder
2. um eine offenkundige lineare oder nicht-lineare Trendkurve schwanken.

Bewegen sich die Abweichungen mit zu- oder abnehmender Amplitude um Null oder einen anderen konstanten oder zeitabhängigen Mittelwert, so kann man nicht ohne weiteres veränderte Prozeßbedingungen annehmen. Denn die Streubreite der Abweichungen folgt im Verweilzeitmodell dem Trend der Inputzeitreihe auch bei stationärem Systemverhalten... "1)

Die Beurteilung der Prognosequalität mit Hilfe der Diagramme kann selbstverständlich nur relativ grobe Anhaltspunkte liefern. Um hier zu genaueren Aussagen zu gelangen, ist es notwendig, Maßzahlen zu konstruieren, die eine quantitative Bewertung der Prognoseergebnisse ermöglichen.

522. Maßzahlen der Prognoseergebnisse

In der statistischen Literatur sind eine Reihe von Maßzahlen und Tests entwickelt worden, die eine genauere Beurteilung von Zeitreihen und Verteilungen ermöglichen. Gerade durch die wahrscheinlichkeitstheoretische Interpretationsmöglichkeit der Verweilzeitverteilungen liegt es

1) R. Edin, Systeme, a.a.O., S. 192

nahe, auf Test- und Überprüfungsverfahren zurückzugreifen, die in allen Teilbereichen der Statistik¹⁾ in mehr oder weniger ausgeprägter Form Anwendung finden. So kann beispielsweise schon eine einfache Mittelwertbildung, die in der beschreibenden Statistik verwendet wird, einen ersten Anhaltspunkt für die Bewertung eines Prognoseergebnisses liefern. Die Berücksichtigung von Streuungsmaßen und die gesamten Methoden der beurteilenden Statistik können die Bewertung und Beurteilung der Prognosequalität sehr weitgehend verfeinern und zu entsprechend präzisen Aussagen führen.

Eine eingehende Untersuchung der verschiedenen möglichen Beurteilungsmaßnahmen kann jedoch erst dann zu aussagefähigen und gesicherten Ergebnissen führen, wenn es möglich ist, die Maßzahlen und Tests an empirischem Material zu überprüfen oder zumindest über Simulationsläufe fundierte Aussagen über ihre Wirkungsweise zu erlangen. Eine umfangreiche Erörterung der vorwiegend statistischen Probleme soll daher in der Arbeit unterbleiben, sondern kann dem angegebenen Schrifttum entnommen werden. Aus der Vielzahl der statistischen Beurteilungs- und Testmethoden sollen aus diesen Gründen nur einige Maßzahlen herausgegriffen

1) Da hier nicht die ganze Palette der verschiedenen Möglichkeiten aufgeführt werden kann, wird auf folgende Literaturauswahl verwiesen:

N. Enrick und W. Schäfer, Entscheidungsorientierte Statistik, Heidelberg 1974; G. Menges, Grundriß der Statistik, Teil 1: Theorie, Köln/Opladen 1968; J. Pfanzagl, Allgemeine Methodenlehre der Statistik, Band I und II, Berlin 1962; B. Lindgren, Statistical Theory, Second Edition, New York/London 1968; A. Hampe, Statistik für Betriebswirte. Eine Einführung. Teil II. Stuttgart 1969; E. Schaich, u.a., Statistik I für Volkswirte, Betriebswirte und Soziologen, München 1974; W. Wallis und H. Roberts, Methoden der Statistik, Anwendungsbereiche, 400 Beispiele, Verfahrenstechniken. (Original: Statistics, A New Approach, Glencoe 1956) Reinbeck 1969; L. Sachs, Statistische Auswertungsmethoden, 2. Aufl., Berlin 1966; E. Kreyszig, a.a.O.; M. Fisz, a.a.O.; S. Brandt, Statistische Methoden der Datenanalyse, Mannheim 1968; O. Anderson, Probleme der statistischen Methodenlehre in den Sozialwissenschaften, 4. Aufl., Würzburg 1962.

werden. Diese Maßzahlen haben den Vorzug, daß sie sehr praktikabel sind und eine gute Rechenbarkeit besitzen. Neben den Forderungen der Genauigkeit, wodurch eine möglichst schnelle und exakte Fehlererkennung gewährleistet wird, und der Notwendigkeit, daß sich das Prüfverfahren widerspruchsfrei in die Konzeption des Prognoseverfahrens einfügt, spielt gerade die Praktikabilität des Prüfverfahrens für den praktischen Einsatz eine entscheidende Rolle.¹⁾

5221. Absolute Fehlermaße

In Anlehnung an die oben vorgestellte Mittelwertberechnung für die Werte von Zeitreihen läßt sich zur Beurteilung der Prognosequalität eine erste Maßzahl bilden, indem man die durchschnittlichen Abweichungen bzw. den durchschnittlichen Fehler berechnet. Unter Verwendung der eingeführten Bezeichnungen für die Prognosefehler:

$$d_{t-i}^* = e_{t-i}^* - e_{t-i}^*$$

läßt sich die durchschnittliche Abweichung²⁾ angeben:

$$da = \frac{1}{n^*+1} \sum_{i^*=0}^{n^*} d_{t-i}^*$$

Dabei werden die Prognoseabweichungen unter Berücksichtigung der Vorzeichen über den "Prüfungszeitraum" addiert und durch die Anzahl der erfaßten Werte dividiert. Für

1) Vgl. L. Neumeyer, a.a.O., S. 73 f.

2) Werden die Abweichungen zum Mittelwert einer Zeitreihe bestimmt, so spricht man auch von "linearer Streuung", "mean deviation" oder "average deviation". Zu den Maßzahlen vgl. auch: R. Edin, Wirkungsweise, a.a.O., S. 750 ff.; H. Langen, u.a., Unternehmensplanung, a.a.O., S. 66 ff., wobei für die Berechnung des Standardfehlers allerdings andere Gleichungen verwendet werden.

unsere angenommenen Prognosezeitreihen 1 und 2 (vgl. S.145) ergeben sich folgende Werte, wobei für die Prognosewerte 1 da_1 und für die Prognosewerte 2 da_2 als Bezeichnung gewählt wird:

$$da_1 = 1/12 \cdot (-120+20+50+100+130-40-100-110-80-10+80+80) = 0$$

$$da_2 = 77,50 \text{ WE}$$

Bei den Abweichungen der Prognosewerte 1 gleichen sich die positiven und die negativen Fehler aus, so daß sich eine durchschnittliche Abweichung von Null ergibt. Wenn man sich jedoch Abb. 18 nochmals vergegenwärtigt, so kann dieses Ergebnis wenig überzeugen, da die Einzelabweichungen dieser Prognosewerte doch erheblich sind und entsprechende Verlustgefahren in sich bergen. Auf der anderen Seite läßt die Berücksichtigung der Vorzeichen trendartige Fehlentwicklungen erkennen, was sich für die Prognosezeitreihe 2 in einem relativ hohen positiven durchschnittlichen Abweichungswert ausdrückt.

Will man den Kompensationseffekt der positiven und negativen Abweichungen ausschließen, läßt sich eine zweite Maßzahl bestimmen, die den durchschnittlichen Fehler der Prognosewerte angibt:

$$df = \frac{1}{n^* + 1} \sum_{i^*=0}^{n^*} |d_{t-1^*}|$$

Hierbei werden also unabhängig vom Vorzeichen die Beträge der Abweichungen addiert und durch die Anzahl der erfaßten Werte dividiert. Für die beiden Prognosezeitreihen ergeben sich damit folgende Beträge:

$$df_1 = 76,67 \text{ WE}$$

$$df_2 = 89,17 \text{ WE}$$

In diesem Fehlermaß kommen nun die Ungenauigkeiten der Prognosewerte 1 auch deutlich zum Vorschein und die Werte für die beiden Zeitreihen werden sich relativ ähnlich. Könnte man bei den Devisenkursschwankungen eine absolute Zufälligkeit unterstellen, so könnte man mittels dieser Maßzahl unmittelbar auf die Verlustgefahr der Schätzwerte 1 und 2 schließen. Sind jedoch die Kursänderungen nicht zufällig, sondern die Devisenkurse verändern sich trendartig - wie oben am Beispiel des US-Dollars gezeigt wurde -, so kann dieser unmittelbare Zusammenhang zwischen den absoluten Fehlern und der Verlustgefahr nicht mehr aufrechterhalten werden.

Als weitere Maßzahl läßt sich der Standardfehler berechnen, dem die Ermittlung des Fehlerquadrates zugrundeliegt. Durch die Quadrierung der Prognosefehler wird der Einfluß der Vorzeichen der Abweichungen ebenfalls eliminiert. Die Interpretation des Standardfehlers entspricht quasi derjenigen der Standardabweichung und gibt "... einen Hinweis auf die Homogenität einer statistischen Menge".¹⁾

Für die Berechnung des Standardfehlers wird folgende Gleichung zugrundegelegt:²⁾

$$ds = \left(\frac{1}{n^*} \left(\sum_{i^*=0}^{n^*} d_{t-i^*}^2 - (n^*+1) \bar{d}^2 \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$

Die Wurzel aus dem mittleren Fehlerquadrat vermindert um das Quadrat des Mittelwerts der Abweichungen multipliziert mit den entsprechenden Quotienten ergibt also den Standard-

1) N. Enrick und W. Schäfer, a.a.O., S. 49

2) Die hier verwendete Formel für den Standardfehler ist mit der oben angegebenen Formel der Standardabweichung identisch. Die Werte n^* und $n - 1$ entsprechen einander. Diese Formel unterscheidet sich von anderen im statistischen Schrifttum angegebenen Beziehungen für die Standardabweichung durch den Nenner. Dadurch ist gewährleistet, daß die Schätzfunktion für die Varianz erwartungstreu ist. Vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 170

fehler. Für die beiden Prognosezeitreihen ergeben sich dann folgende Werte:

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (14400+400+2500+10000+16900+1600+10000+12100 \\ &\quad +6400+100+6400+6400) \\ &= 87\,200 \end{aligned}$$

$$da_1 = 0$$

Daraus ergibt sich:

$$ds_1 = 89,04 \text{ WE}$$

Entsprechend berechnet sich für die Prognosezeitreihe 2:

$$ds_2 = 65,38 \text{ WE}$$

Gegenüber den beiden anderen Maßzahlen ergibt sich in diesem Fall für die Prognosewerte 2 das geringere Fehlermaß, obwohl diese Prognosewerte doch offensichtlich das schlechtere Ergebnis liefern. Der Grund liegt in der Berücksichtigung der durchschnittlichen Abweichung bei der Berechnung des Standardfehlers. Je mehr die Prognosefehler trendartig verlaufen, desto mehr wird ein von Null verschiedener Mittelwert - also eine durchschnittliche Abweichung - auftreten. Ein hoher Mittelwert vermindert aber insgesamt den Standardfehler, da er von dem mittleren Fehlerquadrat zu subtrahieren ist. Die auf das Prognoseergebnis im allgemeinen negativ wirkende Trendkomponente der Prognosefehler bewirkt hier offensichtlich, daß gegenüber den rein zufälligen Schwankungen um die realisierten Werte die systematischen Fehler durch die Ermittlung des Standardfehlers ein relativ geringeres Fehlermaß zugewiesen bekommen. Der Standardfehler scheint bei dieser Anwendung also gerade die schlechteren Prognosewerte zu bevorzugen.

Nun braucht die Standardabweichung nicht isoliert betrachtet zu werden, da die Zahl als solche ohnehin für die Prognosebeurteilung nicht soviel Information beinhaltet. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen mittleren Abweichung kann mit Hilfe der Standardabweichung eine Testgröße berechnet werden, die genauere Aussagen ermöglicht. "Getestet werden soll, ob die Mittelwerte μ_1 und μ_2 zweier normalverteilter Grundgesamtheiten gleich oder verschieden sind."¹⁾ Wie aus diesem Satz abzuleiten ist, wird für die Abweichungen, die sich aus den beiden Verteilungen der realisierten Werte und der Prognosewerte zusammensetzen, Normalverteilung gefordert. "Wie der Kolmogoroff-Smirnow Test zeigte, darf man auf dem 10% Niveau die Normalverteilung als Annäherung unterstellen".²⁾ Der Test basiert auf der t-Verteilung von Student und folgt der Beziehung:³⁾

$$t = \frac{da \cdot \sqrt{n^* + 1}}{ds}$$

Wählen wir eine Signifikanzzahl von 10%, so ergibt sich aus der Tabelle für Students t-Verteilung⁴⁾ der Wert:

$$t_0 = 1,37$$

Dieser Wert ist nun mit dem durch Einsetzen der entsprechenden Größen errechneten t-Wert zu vergleichen. Ergibt sich dabei:

$t < t_0$: so können die Prognosefehler als zufällig betrachtet werden, für:

$t > t_0$: muß auf systematische Fehler geschlossen werden.

1) E. Kreyszig, a.a.O., S. 218

2) R. Edin, Wirkungsweise, a.a.O., S. 757, Fußnote 13

3) Bei der Ermittlung der Gleichung ist wiederum darauf zu achten, daß der Nenner zur Berechnung der Standardabweichung um 1 verkleinert ist.

4) Vgl. Tab. 4, S. 158 für $n^* + 1 = 2$ Freiheitsgrade

Für unser Zahlenbeispiel ergeben sich die Werte:

$$t_1 = \frac{0 \cdot \sqrt{12}}{89,04} = 0 < t_0$$

$$t_2 = 4,106 > t_0$$

Dieser Test erweist nun also die Prognosefehler 1 als zufällig, wogegen bei den Prognosewerten 2 die Hypothese abgelehnt wird, d.h. die Prognosefehler 2 werden als systematische Fehler erkannt.

Langen¹⁾ hat den Standardfehler in Verbindung mit der Testgröße t als geeignete Kennzahl herausgestellt. Dabei geht Langen von einer anderen Berechnung der Standardabweichung aus, was sich jedoch aufgrund der wiederum unterschiedlichen Ermittlung der Größe t im Endeffekt ausgleicht, weswegen nicht näher darauf einzugehen ist. "Als Faustregel für die praktische Anwendung dieser Testgröße kann gelten: Solange der errechnete Wert von t kleiner als 1,35 ist, darf man die Prognosefehler noch als zufällig ansehen. Sobald dieser Wert überschritten wird, ist die Verweilzeitverteilung neu zu ermitteln, um künftig bessere Prognosen zu erzielen."²⁾ Dieser Faustregel sind 10-15 Beobachtungswerte zugrundegelegt. Werden mehr Perioden zur Beurteilung der Prognosewerte erfaßt, was statistisch wünschenswert ist, muß die Testgröße gemäß Tabelle 4 entsprechend verkleinert werden, wodurch fundiertere Aussagen möglich werden.

Diese Testgröße bildet nun eine Maßzahl, die es erlaubt, auf systematische Fehler zu schließen, wobei von der Prämisse normalverteilter Abweichungen auszugehen ist. Wie jedoch gezeigt werden kann, "... ist der vorliegende Test relativ unempfindlich gegen Abweichungen von der Normalität der

1) H. Langen, u.a., Unternehmensplanung, a.a.O., S. 67 ff.

2) Ebenda, S. 70

8 Students t -Verteilung



Tafel 8. Werte von z zu gegebenen Werten der Verteilungsfunktion (62.3)

Beispiel: Bei 9 Freiheitsgraden ist $F(z) = 0,95$ für $z = 1,83$.

$$F(-z) = 1 - F(z)$$

$F(z)$	Anzahl der Freiheitsgrade									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6	0,33	0,29	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26
0,7	0,73	0,62	0,58	0,57	0,56	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54
0,8	1,38	1,06	0,98	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88
0,9	3,08	1,89	1,64	1,53	1,48	1,44	1,42	1,40	1,38	1,37
0,95	6,31	2,92	2,35	2,13	2,02	1,94	1,90	1,86	1,83	1,81
0,975	12,7	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26	2,23
0,99	31,8	6,97	4,54	3,75	3,37	3,14	3,00	2,90	2,82	2,76
0,995	63,7	9,93	5,84	4,60	4,03	3,71	3,50	3,36	3,25	3,17
0,999	318,3	22,3	10,2	7,17	5,89	5,21	4,79	4,50	4,30	4,14

$F(z)$	Anzahl der Freiheitsgrade									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
0,7	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53
0,8	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86
0,9	1,36	1,36	1,35	1,35	1,34	1,34	1,33	1,33	1,33	1,33
0,95	1,80	1,78	1,77	1,76	1,75	1,75	1,74	1,73	1,73	1,73
0,975	2,20	2,18	2,16	2,15	2,13	2,12	2,11	2,10	2,09	2,09
0,99	2,72	2,68	2,65	2,62	2,60	2,58	2,57	2,55	2,54	2,53
0,995	3,11	3,06	3,01	2,98	2,95	2,92	2,90	2,88	2,86	2,85
0,999	4,03	3,93	3,85	3,79	3,73	3,69	3,65	3,61	3,58	3,55

$F(z)$	Anzahl der Freiheitsgrade									
	22	24	26	28	30	40	50	100	200	∞
0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25
0,7	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,52
0,8	0,86	0,86	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84
0,9	1,32	1,32	1,32	1,31	1,31	1,30	1,30	1,29	1,29	1,28
0,95	1,72	1,71	1,71	1,70	1,70	1,68	1,68	1,66	1,65	1,65
0,975	2,07	2,06	2,06	2,05	2,04	2,02	2,01	1,98	1,97	1,96
0,99	2,51	2,49	2,48	2,47	2,46	2,42	2,40	2,37	2,35	2,33
0,995	2,82	2,80	2,78	2,76	2,75	2,70	2,68	2,63	2,60	2,58
0,999	3,51	3,47	3,44	3,41	3,39	3,31	3,26	3,17	3,13	3,09

Tab. 4: Bestimmung der Test-Werte nach Students t -Verteilung

Quelle: E. Kreyszig, a.a.O., S. 405

Verteilungen, ...¹⁾, was einen breiten Anwendungsbereich ermöglicht. Sollte es jedoch in einem konkreten Anwendungsfall - aus welchen Gründen auch immer - nicht sinnvoll erscheinen, diese Testgröße zu berechnen, so können auf der Basis des Fehlerquadrates noch weitere Maßzahlen gebildet werden.

Wie oben dargelegt, führt der bei systematischen Fehlern auftretende relativ hohe Mittelwert der Abweichungen tendenziell zu einer Verminderung des Standardfehlers, wodurch die Bedeutung des Standardfehlers als einzelne Maßzahl für die Prognosequalität fraglich wird. Wie groß die Bedeutung des Mittelwertes bei der Berechnung des Standardfehlers ist, hängt von der Relation des Mittelwertes zu den Abweichungsquadraten ab. Ist das Quadrat des Mittelwertes klein gegenüber dem Quadrat der Abweichungen, so kann die Wirkung des Mittelwertes vernachlässigt werden, da dann der Einfluß auf das Ergebnis als geringfügig anzusehen ist.

Diese Überlegung führt unmittelbar zu einer Maßzahl, die lediglich das Abweichungsquadrat berücksichtigt und die Wirkung der Mittelwerte nicht mehr in den Kalkül einbezieht.²⁾ Dadurch entsteht eine Maßzahl, die aufgrund des Quadrierens die Vorzeichen der Abweichungen nicht berücksichtigt und somit dem durchschnittlichen Fehler $\bar{d}$ sehr ähnlich ist:

$$dq = \left(\frac{1}{n^*+1} \sum_{i^*=0}^{n^*} d_{t-i^*}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Für die beiden Prognosezeitreihen berechnen sich dann die Wurzeln der mittleren Fehlerquadrate:

1) E. Kreyszig, a.a.O., S. 221

2) Edin bezeichnet die Wurzel aus dem mittleren Fehlerquadrat bereits als Standardfehler. Dieser Auffassung soll hier nicht gefolgt werden, vielmehr wird die in der statistischen Literatur übliche Berechnung angewendet, vgl. R. Edin, Wirkungsweise, a.a.O., S. 750

$$\begin{aligned} dq_1 &= (1/12 \cdot 87\,200)^{\frac{1}{2}} = 85,24 \text{ WE} \\ dq_2 &= 99,62 \text{ WE} \end{aligned}$$

Man sieht, daß hier die Werte qualitativ sehr gut mit den durchschnittlichen Fehlern verglichen werden können. Der Unterschied zwischen diesen beiden Fehlermaßen besteht jedoch in ihrer Reagibilität auf Ausreißer. Dabei erfaßt die Wurzel des mittleren Fehlerquadrats die Wirkung starker Schwankungen viel stärker als der durchschnittliche Fehler. Ein extrem gewähltes Beispiel soll die unterschiedliche Wirkungsweise der beiden Maßzahlen verdeutlichen: Es existieren die Prognosezeitreihen a und b für 12 aufeinanderfolgende Perioden. Dabei ergibt sich bei der Prognosereihe a in jeder Periode eine Abweichung (die Vorzeichen spielen dabei keine Rolle) von 10 WE, bei der Prognosereihe b entsteht in der ersten Periode eine Abweichung von 120 WE, in den restlichen Perioden stimmt die Prognose mit den realisierten Werten überein, also $d = 0$. Daraus ergibt sich in beiden Fällen eine Fehler-summe von 120 WE, woraus sich folgende Maßzahlen errechnen:

durchschnittlicher Fehler: $d_{fa} = 10 \text{ WE}$, $d_{fb} = 10 \text{ WE}$

Wurzel des mittleren

Fehlerquadrats: $dqa = 10 \text{ WE}$, $dqb = 34,64 \text{ WE}$

Während bei gleichbleibenden Fehlern die beiden Maßzahlen das gleiche Ergebnis liefern, weichen die Werte für die Prognosewerte b doch erheblich voneinander ab. Der eine Ausreißer der Prognosereihe b wird also sehr stark registriert.

Eine Maßzahl mit diesen Eigenschaften sollte dann zur Anwendung kommen, wenn mit Ausreißern auch eine überproportionale Verlustgefahr verbunden ist. Im Falle der Devisenkurssicherung ist dies von der Entwicklung der Devisenkurse und der Zufälligkeit der Ausreißer bezüglich ihres Vor-

zeichens abhängig. Ist z.B. mit einer tendenziellen Abschwächung der Inlandsvaluta zu rechnen, und führen die Ausreißer vorwiegend zu einer Überschätzung der Devisenaktiva, so ist durch die Ausreißer auch eine erhöhte Verlustgefahr gegeben. In solchen Fällen kann also eine Maßzahl, die hohe Schwankungen besonders stark bewertet, von Nutzen sein.

In den bisherigen Ausführungen wurde der Mittelwert der Abweichungen als eine Art Trendkomponente dargestellt, die eine Aussage über systematische Fehler erkennen läßt. Da sowohl die Streuung der Abweichungen als auch ein relativ hoher Abweichungsmittelwert eine erhöhte Verlustgefahr mit sich bringen, soll versucht werden, diese beiden Werte zu überlagern. Dies kann in mehrfacher Hinsicht geschehen, wodurch die Bedeutung der Abweichungen oder des Mittelwertes mehr oder weniger stark hervorgehoben werden kann. Wie eine solche Maßzahl ausgestaltet werden soll, kann erst durch ihre Wirkung bei einem konkreten Anwendungsfall oder durch Simulation ermittelt werden. Eine mögliche Verknüpfung dieser beiden Komponenten ist denkbar, indem man die Quadrate der beiden Größen mit Konstanten gewichtet und addiert:

$$dsa = \left(k_1 \frac{1}{n^*+1} \sum_{i^*=0}^{n^*} d_{t-i^*}^2 + k_2 \bar{da}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Diese Maßzahl besteht also aus einer "Streuungskomponente" und einer "Trendkomponente", die additiv überlagert werden. Für die beiden Prognosezeitreihen errechnen sich dabei die Werte

$$(k_1 = k_2 = 1):$$

$$dsa_1 = 85,24 \text{ WE}$$

$$dsa_2 = 126,22 \text{ WE}$$

Durch diese Konstruktion wird in besonderem Maße die trendartige Entwicklung der Prognosewerte 2 unterstrichen, in-

dem sich dafür ein erheblich höherer Wert ergibt. Dieses Fehlermaß stellt zweifelsohne eine relativ willkürliche Größe dar, die in vieler Hinsicht modifiziert werden könnte, ohne den prinzipiellen Aufbau zu zerstören. Da hier eine eindeutige Aussage aufgrund umfangreicher Untersuchungen nicht möglich ist, scheint es jedoch wenig sinnvoll zu sein, verschiedene Ausgestaltungsmöglichkeiten darzulegen. Diese werden sich jedenfalls daran zu orientieren haben, wodurch eine größere Verlustgefahr gegeben ist. Kann z.B. davon ausgegangen werden, daß sich die Verluste und Gewinne, die infolge von zufälligen Abweichungen entstehen, weitgehend ausgleichen, so ist der "Trendkomponente" das größere Gewicht beizumessen als der "Streuungskomponente". Dies kann im einfachsten Fall dadurch geschehen, daß die beiden Komponenten mit Konstanten gewichtet werden (k_1 und k_2), wodurch der größeren Bedeutung Ausdruck verliehen werden kann. Die Werte von k_1 und k_2 sind dann mittels empirischer Untersuchung zu ermitteln.

5222. Relative Fehlermaße

Mit Ausnahme des t-Wertes haben alle oben vorgestellten Fehlermaße die Dimension "WE", d.h. durch die Maßzahlen werden absolute Größen berechnet, die unmittelbar aus den Abweichungen der Prognosewerte von den realisierten Werten resultieren. Unabhängig von der Ausgestaltung und der Prognosequalität eines Schätzverfahrens werden die absoluten Abweichungen tendenziell umso größer sein, desto größer die Beträge der Inputgrößen sind. Dadurch ist ein Zusammenhang zwischen Abweichungen und Inputgrößen gegeben, der die Beurteilung der Prognosefehler erschwert. So kann z.B. eine durchschnittliche Abweichung von 100 WE für einen Betrieb mit geringem Export-Import-Geschäft eine relativ

größere Verlustquelle darstellen als die durchschnittliche Abweichung von 10 000 WE für ein Unternehmen mit regen Auslandsbeziehungen. Die betragsmäßige Abhängigkeit der Maßzahlen kann dadurch umgangen werden, daß man die Abweichungen auf ihre jeweilige Bezugsgröße bezieht, wodurch die absoluten Maßzahlen zu dimensionslosen relativen Maßzahlen werden. Für unseren Anwendungsfall bedeutet dies, daß die Abweichungen bei der Schätzung der Deviseneinnahmen bezüglich der prognostizierten Deviseneinnahmen zu relativieren sind. Entsprechend ist bei allen anderen Phasen des vorgestellten Prognosemodells zu verfahren, um eine lückenlose Gesamtüberwachung des Modells zu gewährleisten. Durch die Multiplikation dieser relativen Fehler mit 100 können dann die prozentualen Maßzahlen angegeben werden.

In Analogie zu den absoluten Fehlermaßen lassen sich dann die relativen Fehlermaße beschreiben, für deren zahlenmäßige Ermittlung zunächst die relativen Abweichungen pro Periode zu berechnen sind. Die Zahlenwerte für unser oben angenommenes Beispiel ergeben sich aus Tabelle 5.

In der Literatur ist es üblich, die Abweichungen auf die prognostizierten Werte zu beziehen, um die relativen Größen zu berechnen. Dieser Vorgehensweise soll hier prinzipiell gefolgt werden, und die nachstehenden allgemeinen Gleichungen sind auf dieser Basis aufgebaut. Für den Vergleich zweier Prognosezeitreihen für die gleichen Größen und Perioden, wie dies hier beispielhaft vorgeführt werden soll, ergeben sich damit aber unterschiedliche Bezugsgrößen, wodurch ein Vergleich der relativen Maßzahlen der beiden Prognosereihen erschwert wird. Zum Vergleich der beiden Prognosezeitreihen werden daher die Abweichungen zusätzlich noch auf die realisierten Werte bezogen, und die Ergebnisse

Perioden	Prognose- werte 1	relative Prognose- fehler 1	Prognose- werte 2	relative Prognose- fehler 2
1	880	+ 0,0909	790	- 0,0127
2	900	+ 0,0889	850	+ 0,0353
3	800	- 0,0125	750	- 0,0800
4	710	- 0,1127	870	+ 0,0920
5	720	- 0,1528	960	+ 0,1354
6	700	- 0,1429	940	+ 0,1489
7	720	- 0,0556	800	+ 0,0500
8	900	+ 0,1444	860	+ 0,1047
9	950	+ 0,1053	980	+ 0,1327
10	810	+ 0,0617	850	+ 0,1059
11	810	+ 0,0247	910	+ 0,1319
12	620	- 0,1935	890	+ 0,1685
Σ	9520	- 0,1540	10450	+ 1,0125

Tab. 5: Relative Abweichungen der Prognosezeitreihen¹⁾

sind in Klammern hinter den entsprechend der angegebenen Gleichungen berechneten Werten aufgeführt. Da in praxi die Maßzahlen zur Beurteilung einer bestimmten Prognosefunktion und nicht für den Vergleich von zwei verschiedenen Prognosezeitreihen verwendet werden, ist dort diese Überlegung nicht relevant. Für die relativen Abweichungen pro Periode mit den realisierten Werten als Bezugsgröße ergeben sich folgende Größen:

1) Bei den errechneten Werten sind die letzten Stellen jeweils gerundet.

Prognosezeitreihe 1: 0,1; 0,09756; - 0,01235; - 0,10127;
 - 0,13253; - 0,125; - 0,05263; 0,16883;
 0,11765; 0,06579; 0,02532; - 0,16216

Prognosezeitreihe 2: - 0,0125; 0,03659; - 0,07407; 0,10127
 0,15663; 0,175; 0,05263; 0,11688;
 0,15294; 0,11842; 0,15190; 0,20270

Mit diesen Zahlenwerten lassen sich nun die verschiedenen relativen Maßzahlen berechnen:

Als erste Maßzahl wollen wir die durchschnittlichen relativen Abweichungen betrachten:

$$\text{dar} = \frac{1}{n^*+1} \sum_{i^*=0}^{n^*} \frac{d_{t-i^*}}{e_{t-i^*}}$$

Durch Einsetzen der Zahlenwerte ergeben sich die Größen für die beiden Prognosezeitreihen:

$$\begin{aligned} \text{dar}_1 &= - 0,0128 \quad \text{oder} \quad - 1,28\% \quad (- 0,09\%) \\ \text{dar}_2 &= 0,0844 \quad \text{oder} \quad 8,44\% \quad (9,82\%) \end{aligned}$$

Wie bei den absoluten Größen werden die Vorzeichen berücksichtigt, was einen teilweisen Fehlerausgleich mit sich bringt, weswegen diese Größe für den Anwendungsfall nicht als direktes Risikomaß gewertet werden kann. Obwohl die absolute durchschnittliche Abweichung der Prognosewerte 1 Null ist, muß der relative Wert nicht Null werden, was sich leicht nachweisen läßt. Durch die Verwendung der realisierten Werte als Bezugsgröße werden die Unterschiede zwischen den beiden Prognosereihen deutlicher hervorgehoben, was auf die im Durchschnitt höheren Prognosewerte 2 zurückzuführen ist.

Will man die Fehler unabhängig von deren Vorzeichen erfassen, ergibt sich der relative durchschnittliche Fehler:

$$dfr = \frac{1}{n^*+1} \sum_{i^*=0}^{n^*} \frac{|d_{t-i^*}|}{\hat{e}_{t-i^*}}$$

Für die beiden Prognosezeitreihen ergeben sich die Werte:

$$dfr_1 = 0,09882 \quad \text{oder} \quad 9,882\% \quad (9,68\%)$$

$$dfr_2 = 0,09983 \quad \text{oder} \quad 9,983\% \quad (11,26\%)$$

Dieses Fehlermaß gibt nun an, um wieviel Prozent die realisierten Werte von den Prognosewerten positiv oder negativ differieren. Wie bei den absoluten durchschnittlichen Fehlern ist auch hier ein Risikomaß für mögliche Verluste denkbar, da eine Kompensation der negativen und positiven relativen Fehler nicht eintritt. Negative und positive Abweichungen können aber gleichermaßen Verluste aus den Devisengeschäften herbeiführen, wodurch sich der Zusammenhang zu der Verlustgefahr ergibt. Demgegenüber ermöglicht diese Maßzahl keine Aussage über systematische Fehler.

Des weiteren kann auch der Standardfehler relativiert werden. Wie wir oben jedoch festgestellt haben, bietet der Standardfehler für sich allein keine sehr aussagefähige Maßzahl, sondern kann vorwiegend in Verbindung mit dem t-Test zur Beurteilung zufälliger bzw. systematischer Fehler herangezogen werden. Der t-Test führt dabei zu einer dimensionslosen Testgröße, die keiner Bezugsgröße mehr bedarf, weswegen hier keine Relativierung notwendig ist. Berechnet man dennoch die Größen aufgrund der relativen Werte, so wird das Ergebnis nur im Ausnahmefall genau mit dem der absoluten Werte übereinstimmen. Für unser Beispiel ergeben sich die Zahlenwerte:

$$dsr_1 = 0,11588 \quad (0,11261)$$

$$\text{und } t_1 = 0,38384 \quad (0,02766)$$

Damit erweisen sich die Prognosefehler 1 als zufallsbedingt, die Prognosefehler 2 werden auch hier als systematische Abweichungen gewertet:

$$\begin{aligned} \text{dsr}_2 &= 0,07349 \quad (0,0824) \\ \text{und } t_2 &= 3,97742 \quad (4,12833) \end{aligned}$$

Rein quantitativ ergeben sich Unterschiede zu den absoluten Größen, das Gesamtergebn bleibt dabei jedoch gleich.

Als weitere Maßzahl sind die relativen mittleren Fehlerquadrate zu nennen, die eine verstärkte Reaktion auf große Schwankungen zeigen, ohne die Mittelwerte zu erfassen:

$$\text{dqr} = \left(\frac{1}{n^*+1} \sum_{i^*=0}^{n^*} \left(\frac{d_{t-i^*}}{e_{t-i^*}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Daraus ergeben sich die Werte:

$$\begin{aligned} \text{dqr}_1 &= 0,11168 \quad \text{oder } 11,2\% \quad (10,8\%) \\ \text{dqr}_2 &= 0,10987 \quad \text{oder } 10,9\% \quad (12,6\%) \end{aligned}$$

Während bisher alle relativen Fehlermaße die Aussagen der absoluten Maßzahlen bestätigten, tritt hier nun eine Umkehr in der Beurteilung der beiden Prognosereihen ein, sofern die Abweichungen auf die Prognosewerte bezogen werden. Der Grund liegt in den durchschnittlich höheren Bezugsgrößen der Prognosewerte 2, wodurch deren relativer Fehler geringer ausgewiesen wird. Demgegenüber liefern die relativen mittleren Fehlerquadrate auf der Basis der realisierten Werte qualitativ das gleiche Ergebnis wie die absolute Maßzahl, was die Bedeutung der Bezugsgrößen beim Vergleich zweier Prognosezeitreihen unterstreicht. Bei der isolierten Betrachtung der Prognoseergebnisse wird diese Unterscheidung nicht relevant, sofern die Bezugsgröße beibehalten wird.

Schließlich ist noch die relativierte Maßzahl anzugeben, die eine Verknüpfung der Abweichungsquadrate und des Mittelwertes darstellt:

$$dsar = \left(k_1 \cdot \frac{1}{n^*+1} \sum_{i^*=0}^{n^*} \left(\frac{d_{t-i^*}}{\hat{\sigma}_{t-i^*}} \right)^2 + k_2 \cdot dar^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Für die beiden Prognosezeitreihen ergeben sich die Werte ($k_1 = k_2 = 1$):

$$dsar_1 = 0,11242 \quad \text{oder} \quad 11,2\% \quad (10,8\%)$$

$$dsar_2 = 0,13853 \quad \text{oder} \quad 13,9\% \quad (15,9\%)$$

Obwohl hier die Werte noch als Prozentzahlen ausgewiesen werden, kann diese Zahl nicht etwa als prozentualer Fehler interpretiert werden, was sich aus der Konstruktion dieser Maßzahl unmittelbar ergibt. In diesem Wert muß vielmehr ein individuell zu interpretierender Schwellwert gesehen werden, der über die Notwendigkeit der Ermittlung neuer Spektralvektoren oder Überprüfung der Modellbedingungen zu entscheiden hat. Ähnlich wie bei den statistischen Tests, bei denen mehr oder weniger "willkürlich" eine Signifikanzzahl festzusetzen ist, müssen auch hier die "Toleranzgrenzen" gewählt werden. Die quantitative Festlegung des Wertes kann daher nur aufgrund empirischer Untersuchungen, bei denen die Verlustrisiken und die Revisionskosten gleichermaßen zu beachten sind, geschehen. Es ist daher an dieser Stelle nicht möglich, fundierte Aussagen über die tolerierbaren Zahlenwerte der Maßzahlen zu geben.

Durch die Durchführung des auf der Ermittlung des Standardfehlers basierenden Tests und durch die Bestimmung der durchschnittlichen Abweichungen quasi als "Trendkomponente" scheinen auch die bisher vorgestellten Maßzahlen trendartige Veränderungen signalisieren zu können, obwohl ihnen

allen lediglich eine Durchschnittsbildung über der Zeit zugrundeliegt. Da in bezug auf die Notwendigkeit der Überprüfung und Veränderung der Spektralvektoren den systematischen Fehlern eine besondere Bedeutung zukommt, soll im folgenden noch eine Maßzahl vorgestellt werden, die auf der linearen Regression beruht.

5223. Der Regressionskoeffizient als Maßzahl für trendartige Änderungen

Wenn man sich die Kurven der kumulierten Prognosewerte und der kumulierten realisierten Werte nochmals vergegenwärtigt (vgl. Abb. 17, S. 147), so zeigt sich, daß sich die Prognosewerte 2 mehr und mehr von den realisierten Werten entfernen, während die Prognosewerte 1 um diese oszillieren. Würde man durch die Zeitreihen jeweils eine Regressionsgerade¹⁾ legen, so würde das bedeuten, daß der Winkel zwischen der Geraden der realisierten Werte und der Geraden der Prognosewerte 2 größer ist als der Winkel zwischen der Geraden der realisierten Werte und der Geraden der Prognosewerte 1. Man kann also versuchen, den Winkel zwischen den Regressionsgeraden als Maßstab für systematische Fehler auszuwerten.

Anstatt nun die Regressionsgeraden aller Zeitreihen zu berechnen, um daraus die Winkeldifferenz zu ermitteln, ist es auch möglich, lediglich die Regressionskoeffizienten der beiden Abweichungszeitreihen zu bestimmen. Handelt es

1) Zur Regressionsanalyse vgl. neben der bereits zitierten statistischen Literatur: W.-R. Bretzke, Zur Frage der Überprüfbarkeit von Prognosen im Geschäftsbericht. In: Die Wirtschaftsprüfung, Heft 11/1974, S. 292 ff.; E. Förster und F. Egermeyer, Korrelations- und Regressionsrechnung, Berlin 1966; S. Gahse, a.a.O., S. 62 ff.; N. Heckmann und F. Schemmel, a.a.O., S. 42 ff.; G. Matt, Die schrittweise Regressionsanalyse und ihre Anwendungsmöglichkeit im kaufmännischen Bereich. In: AKOR Ablauf- und Planungsforschung, Band 4, 1963, Heft 4, S. 254 ff.; H. Schneeweiß, Ökonometrie, Würzburg/Wien 1971, S. 29 ff.; M. Woitschach, Anmerkungen zur Regressionsanalyse. In: IBM-Nachrichten 219, 1974, S. 55 ff.

sich um rein zufällige Abweichungen, so werden diese im Zeitablauf um die Zeitachse schwanken (vgl. Abb. 18, S.148). Das bedeutet, daß die Regressionsgerade in etwa parallel zur Zeitachse verläuft, d.h. einen betragsmäßig relativ kleinen Regressionskoeffizienten hat. Je mehr sich die Abweichungen trendartig verändern, desto größer wird der Betrag des Regressionskoeffizienten.

Der Regressionskoeffizient ist also das Steigungsmaß der Regressionsgeraden und berechnet sich nach der Formel¹⁾:

$$b = \frac{s_{pd}}{s_1^2}$$

p : bezeichnet die verschiedenen Perioden

s_{pd} : ist die Kovarianz²⁾

s_1^2 : ist die Varianz der p-Werte

$$s_{pd} = \frac{1}{n^*} \left(\sum_{i^*=0}^{n^*} p_{t-i^*} \cdot d_{t-i^*} - \frac{1}{n^*+1} \sum_{i^*=0}^{n^*} p_{t-i^*} \sum_{i^*=0}^{n^*} d_{t-i^*} \right)$$

$$s_1^2 = \frac{1}{n^*} \sum_{i^*=0}^{n^*} (p_{t-i^*} - \bar{p})^2$$

Durch Einsetzen der Zahlenwerte errechnen sich die Kovarianzen für die beiden Prognosezeitreihen:

$$s_{pd1} = - 29,0909 \text{ WE} \cdot t$$

$$s_{pd2} = 165,9091 \text{ WE} \cdot t$$

Die Varianz der p-Werte ist für beide Prognosezeitreihen gleich, da sich die Prognosewerte über die gleichen Prognosezeiträume erstrecken und die gleichen Periodeninter-

1) Vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 261

2) Bei der Formulierung der Gleichungen ist zu beachten, daß n^*+1 die Anzahl der Perioden ist, woraus sich die Unterschiede zu anderen Formeln erklären. Vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 261; E. Schaich, u.a., a.a.O., S.79f.; M.Fisz, a.a.O., S.106

valle besitzen. Die Varianz der Perioden errechnet sich zu:

$$s_1^2 = 13 t^2$$

Damit ergeben sich die Regressionskoeffizienten der beiden Prognosereihen:

$$b_1 = - 2,2378 \text{ WE/t}$$

$$b_2 = 12,7622 \text{ WE/t}$$

Die Regressionsgeraden der beiden Abweichungsreihen berechnen sich nach der Formel:¹⁾

$$d = b \cdot (p - \bar{p}) + \bar{d}$$

Durch Einsetzen der Zahlenwerte ergeben sich folgende Beziehungen:

$$d_1 = - 2,2378 \cdot p + 14,545$$

$$d_2 = 12,7622 \cdot p - 5,454$$

Die beiden Gleichungen lassen sich nun in einem d-p-Diagramm darstellen:

1) Vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 261

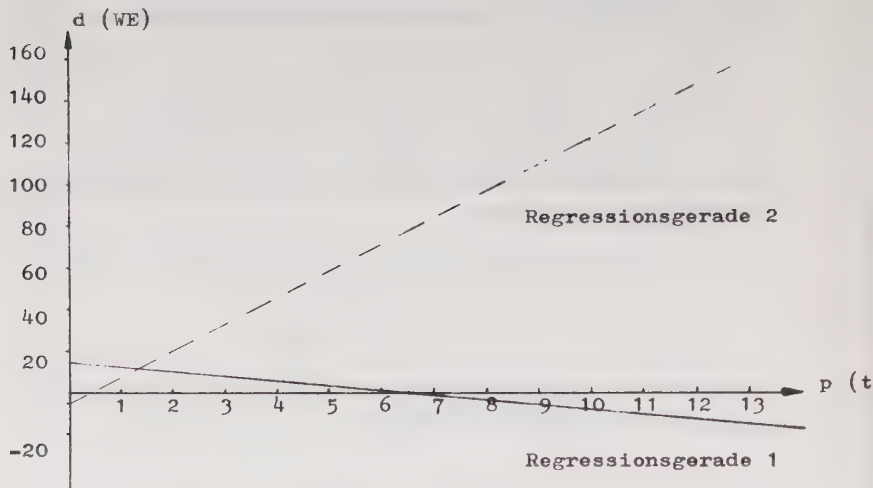


Abb. 19: Regressionsgeraden der Prognosefehler 1 und 2

Wie an den Zahlenwerten für die beiden Regressionskoeffizienten unmittelbar ablesbar und durch das Diagramm anschaulich dargestellt, weichen die beiden Regressionskoeffizienten erheblich voneinander ab. Während der Regressionskoeffizient 1 einen leicht negativen Wert annimmt, ergibt sich bei den Prognosefehlern 2 doch ein relativ stark positives Steigungsmaß. Aus der gewählten Charakterisierung der Zahlenwerte durch "leicht negativ" und "relativ stark positiv" geht schon hervor, daß aufgrund der Zahlenwerte allein noch keine exakten Aussagen über die Zufälligkeit oder die Systematik der auftretenden Fehler getroffen werden können. Man stößt hier also auf die gleiche Problematik der Beurteilung der Zahlenwerte, wie sie schon bei den oben erläuterten Maßzahlen angesprochen wurde.

Ähnlich zu dem in Verbindung mit der Standardabweichung durchgeführten Test, läßt sich auch der Regressionsko-

effizient durch eine Testgröße ergänzen. Die Testgröße baut gleichermaßen auf der Student'schen t-Verteilung auf und hat die Normalverteilung und Unabhängigkeit der Prognoseabweichungen zur Voraussetzung. Bei der praktischen Anwendung muß also erst sichergestellt sein, ob die realen Bedingungen mit den Voraussetzungen verträglich sind, um durch den Test nicht zu irreführenden Ergebnissen zu gelangen. Unterstellen wir die Erfüllung dieser Prämissen, so kann die Hypothese $\beta = \beta_0$ gegen eine Alternative $|\beta| > |\beta_0|$ getestet werden.¹⁾ Dazu ist zunächst wiederum eine Signifikanzzahl zu wählen, die die Wahrscheinlichkeit bemißt, mit der ein Fehler 1. Art begangen wird, d.h. eine richtige Hypothese verworfen wird.²⁾

Als Sonderfall ist hier die Hypothese $\beta_0 = 0$ zu testen, denn es soll festgestellt werden, ob der Regressionskoeffizient der Abweichungen der Prognosewerte von den realisierten Werten signifikant von Null verschieden ist, was auf einen trendartigen Verlauf der Abweichungen schließen läßt.

Durch die Wahl der Signifikanzzahl wird mittels der Freiheitsgrade aus Tabelle 4, S. 158 der t_0 - Wert abgelesen, der mit dem zu errechnenden t-Wert zu vergleichen ist. Der t-Wert errechnet sich dabei nach der Formel³⁾:

$$t = s_1 \cdot \sqrt{(n^* - 1) \cdot n^*} \frac{|b|}{\sqrt{a}}$$

Die Zahl a beschreibt die Summe der vertikalen Abstandsquadrate zwischen den einzelnen Abweichungswerten und

1) Vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 276

2) Vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 208

3) Vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 276

der durch Minimierung der Summe der Abstandsquadrate errechneten Regressionsgeraden. Die Zahl a kann direkt aus den Ordinatenwerten ermittelt werden oder unter Verwendung des Regressionskoeffizienten und der Varianzen folgendermaßen errechnet werden¹⁾:

$$a = n^* \cdot (s_2^2 - b^2 s_1^2)$$

s_2^2 : ist die Varianz der d-Werte

Wie aus den beiden Gleichungen ersichtlich ist, wird sich für den errechneten t -Wert auch bei relativ hohen Werten für den Regressionskoeffizienten ein kleiner Wert ergeben, sofern die Zahl a genügend groß ist. Die Summe der Abstandsquadrate wird aber umso größer sein, desto stärker die Werte streuen, denn a wird dann und nur dann Null, wenn alle Abweichungswerte auf der Regressionsgerade liegen. Das bedeutet aber, daß ein Trend bei den Abweichungswerten umso schwerer durch diesen Test erkannt werden kann, desto größer die Abweichungswerte streuen, so daß sich in solchen Fällen dieser Test als wenig reagibel auf trendartige Entwicklungen erweist.

Wählen wir eine Signifikanzzahl von 10% - wie wir dies auch schon beim Test des Standardfehlers getan haben -, so ergibt sich für $n^* - 1$ Freiheitsgrade nach Tabelle 4, S. 158 der Wert:

$$t_0 = 1,37$$

Für die beiden Abweichungszeitreihen errechneten sich die Regressionskoeffizienten:

$$b_1 = - 2,2378 \text{ WE/t}$$

$$b_2 = 12,7622 \text{ WE/t}$$

1) Vgl. E. Kreyszig, a.a.O., S. 267

Mit $s_1^2 = 13$ ergeben sich daraus die Summen der Abstandsquadrate:

$$a_1 = 86483,916 \text{ WE}^2$$

$$a_2 = 23733,916 \text{ WE}^2$$

Durch Einsetzen der Werte in obige Gleichung ergeben sich die t-Werte:

$$t_1 = 0,288$$

$$t_2 = 3,133$$

Vergleichen wir die beiden Werte mit dem Wert t_0 , so ergibt sich:

$t_1 < t_0$, d.h. die Abweichungen der Prognosezeitreihe 1 werden als zufällig angesehen;

$t_2 > t_0$, die Hypothese wird verworfen, die Werte der Prognosezeitreihe 2 unterliegen trendartigen Veränderungen.

Nach den vorangegangenen Ergebnissen der verschiedenen Maßzahlen kann dieses Resultat nicht überraschen, da alle vorgestellten Beurteilungsmaßstäbe tendenziell die gleiche Aussage bezüglich der beiden beispielhaft gewählten Prognosezeitreihen liefern, sofern man bei den relativen Fehlermaßen die realisierten Werte als Bezugsgröße auswählt. Die Untersuchung des Regressionskoeffizienten kann ebenfalls bezüglich relativer Abweichungen entsprechend der beschriebenen Vorgehensweise vorgenommen werden. Da dadurch keine prinzipiell neue Bewertungsmethode entsteht, soll auf die Darstellung jedoch verzichtet werden.

523. Zusammenfassung

Die Prognosewerte der Deviseneinnahmen und -ausgaben werden realiter immer mehr oder minder stark von den tatsächlichen Werten abweichen, auch wenn das vorgestellte Prognosemodell die Realität recht gut abzubilden vermag. Die auftretenden Prognosefehler lassen sich prinzipiell in zufällige und systematische Fehler einteilen, wobei in praxi eine eindeutige Abgrenzung schwierig sein wird. Anhand zweier beispielhaft gewählter Prognosezeitreihen 1 und 2 wurde in Abschnitt 521. die Wirkungsweise beider Fehlerarten diskutiert und mittels Diagramme veranschaulicht.

Um jedoch zur Überprüfung und evtl. Korrektur des Prognosemodells eine exaktere Fehlermessung zu erreichen, ist es notwendig, die aufgetretenen Prognosefehler quantitativ zu erfassen. In Abschnitt 522. wurde dazu eine Reihe statistischer Maßzahlen vorgestellt, die am Beispiel der beiden Prognosezeitreihen in ihrer Wirkungsweise untersucht wurden. Die absoluten Fehlermaße (durchschnittliche Abweichung, durchschnittlicher Fehler, Standardfehler in Verbindung mit dem t-Test, Wurzel der mittleren Fehlerquadrate und eine Maßzahl, mit der versucht wurde eine Trendkomponente und eine Streuungskomponente zu verbinden) und die entsprechenden relativierten Größen führten mit einer Ausnahme zur qualitativen gleichen Beurteilung der beiden Prognosezeitreihen. Des weiteren konnten z.B. mit dem Standardfehler in Verbindung mit dem t-Test die Fehler der Prognosewerte 2 als systematische Fehler erkannt werden. Zur Überprüfung der Prognosewerte bezüglich systematischer Fehler wurde in Abschnitt 523. noch der Regressionskoeffizient im Zusammenhang mit dem t-Test herangezogen. Trotz der Bestätigung der bisherigen Ergebnisse durch diese Testgröße besteht dabei die Gefahr, daß bei einer großen Streuung der Abweichungen evtl. trendartige Veränderungen verschleiert werden.

Obwohl die aufgezeigten Maßzahlen zur Beurteilung der Prognosequalität für die gewählten Prognosewerte 1 und 2 ein einheitliches Ergebnis liefern, kann ihre Aussagefähigkeit bei der Anwendung auf ein konkretes Prognoseproblem erheblich differieren. Ein Hauptgrund dafür ist in den sich in der Realität ständig ändernden Modellgrößen zu sehen, wogegen in unserem Beispiel eine bestimmte Situation für beide Prognosezeitreihen untersucht wurde. Eine Änderung der Modellgrößen kann auf die verschiedenen Maßzahlen unterschiedliche Auswirkungen haben, so daß die einen Fehlermaße sehr stark, die anderen fast gar nicht auf die veränderte Situation reagieren. Variieren können die Inputgrößen betragsmäßig, mengenmäßig und in ihrem zeitlichen Auftreten, sowie die Übergangsfunktionen zwischen den einzelnen Phasen z.B. durch verändertes Zahlungsverhalten der ausländischen Kundschaft. Wie sich eine veränderte Situation durch die Maßzahlen erfassen läßt, ist durch empirische Untersuchungen oder durch Simulation zu ermitteln.

Im Rahmen eines Simulationsmodells wurden von Edin die Auswirkungen der Zusammensetzung und Entwicklung der Inputgrößen auf die Prognosequalität untersucht.¹⁾ Edin betrachtet dabei den Phasenübergang Umsatz $\longrightarrow$ Einnahmen und wendet gleiche bzw. ähnliche Maßzahlen an, wie sie oben vorgestellt wurden. Ferner testet Edin die "Einflüsse der zeitabhängigen Änderung der Verweilzeitverteilung auf die Prognosequalität"²⁾ und die "Auswirkungen unzutreffender Prognosespektren auf die Prognosequalität"³⁾. Ohne die Ergebnisse im einzelnen wiederholen zu wollen, sei auf die verschiedenartige Bewertung der veränderten Situationen durch die einzelnen Maßzahlen hingewiesen.

1) Vgl. R. Edin, Wirkungsweise, a.a.O., S. 751 ff.

2) Ebenda, S. 756 ff.

3) Ebenda, S. 761 ff.

Ist aufgrund empirischer Untersuchungen die Wirkungsweise und numerische Bedeutung der Maßzahlen bekannt, so beschreiben diese eine Toleranzgrenze, ab der die Modellbedingungen überprüft werden müssen. Dabei üben die Fehlermaße lediglich eine ex post-Kontrollfunktion aus, die nur sehr ungenaue Anhaltspunkte über die veränderte Situation selbst geben. Es ist also notwendig, die Verweilzeitverteilungen durch eine neue Erhebung der aktuellen Lage anzupassen. Ist es jedoch möglich, die Veränderung der Spektralvektoren im Zeitablauf zu prognostizieren, so kann dadurch eine Neuerhebung der Verteilungen evtl. erspart werden, sofern die prognostizierten Spektren das veränderte Übergangsverhalten hinreichend gut zu beschreiben vermögen.

53. Die Verbesserung der Prognosequalität durch die Verwendung instationärer Spektren

531. Allgemeines

Bei der Grundkonzeption des Prognosemodells sind wir von der Stationarität der Verweilzeitverteilungen ausgegangen und haben somit ein konstantes Übergangsverhalten zwischen den Phasen des Ablaufschemas unterstellt. Die Diskussion in Punkt 4411. zeigt uns jedoch, daß das Übergangsverhalten aufgrund sich ändernder Umweltbedingungen im Zeitablauf nicht konstant ist, so daß stationäre Verweilzeitverteilungen das reale Verhalten im Zeitablauf nicht mehr richtig beschreiben. Durch das Korrekturerfordernis der Verteilungen kann die Stationarität der Verweilzeitverteilungen nur noch bereichsweise angenommen werden, nämlich solange die gewünschte Prognosequalität erreicht wird. Die Maßzahl der Prognosequalität determiniert somit auch den Stabilitätsbereich der Spektralvektoren.

Wird durch die Maßzahl die erreichte Prognosequalität als

nicht mehr akzeptabel ausgewiesen, ist eine Revision der Spektralvektoren notwendig. Das bedeutet, daß die Verteilungen anhand neuer Daten zu ermitteln sind, wodurch sie den neuesten Gegebenheiten wieder angepaßt werden. Die Neuerhebung der Verteilungsspektren ist naturgemäß mit einem entsprechenden Aufwand verbunden, wodurch die Frage nach möglichen Kosteneinsparungen aufgeworfen wird. Eine Möglichkeit, die Neuerhebung von Verteilungen zu vermeiden oder deren Notwendigkeit zumindest zeitlich hinauszuschieben, bietet die Prognose der Verweilzeitverteilungen. Eine solche Vorgehensweise ist jedoch erst dann sinnvoll, wenn die Kosten der Spektralprognose geringer sind als die Kosten einer vorzeitigen Neuerhebung. Dabei ist außerdem die erreichbare Prognosequalität zu beachten, die durch Neuerhebung bzw. durch eine kontinuierliche Spektrenprognose ermöglicht wird, da durch sie das Verlustrisiko unmittelbar bestimmt wird. Die anzuwendende Prognosemethode wird sich daher unter anderem auch nach Kostenkriterien richten müssen.

Neben den Kostengesichtspunkten ist zu überlegen, wie die veränderten Übergangsfunktionen geschätzt werden können, bzw. nach welchen Gesetzmäßigkeiten sich die Verweilzeiten verändern. Gerade der unmittelbare Zusammenhang zu dem vorgestellten Prognosemodell, das auf den Transformationsgesetzen betrieblicher Phasen aufgebaut ist, würde für die Spektrenprognose eine Methode erwarten lassen, die auf der sachlogischen Entwicklung der Spektren basiert. Allerdings erhebt sich die Frage, wie die vielen erfaßbaren und nicht erfaßbaren Einflußfaktoren und Interdependenzen, die zu einer veränderten Verteilung führen, bemessen werden können. Neumeyer¹⁾ hat ein Prognoseverfahren für die Liquidationsspektren entwickelt, in dem er die Veränderung der Liquidationsspektren als stochastischen Prozeß interpretiert und durch Markow-Ketten abbildet. Durch die Formulierung

1) L. Neumeyer, a.a.O., S. 111 ff.

einer Übergangsmatrix werden die neuen Spektren gewonnen.

532. Die Prognosemethode des exponentiellen Glättens

Hier soll ein weiterer Lösungsversuch vorgestellt werden, der auf einem statistischen Prognoseverfahren beruht. Mit der Methode der exponentiellen Glättung¹⁾ soll versucht werden, für einen kurz- bis mittelfristigen Prognosezeitraum die veränderten Spektralvektoren zu errechnen. Wie an früherer Stelle schon besprochen, bezieht dieses Verfahren die kausalen Zusammenhänge nicht in den Kalkül ein, sondern leitet die Prognosewerte lediglich aus den eigenen Vergangenheitswerten ab. Insofern steht dieses Verfahren in einem "Gegensatz" zu oben behandelter Prognosemethode und es wird die Neuerhebung von Spektren sicher nicht entbehrlich machen, sondern lediglich die Intervalle zwischen zwei Neuerhebungen erweitern können. Das Verfahren zeichnet sich jedoch durch eine hohe Praktikabilität aus, was in Verbindung mit einem anderen Prognosemodell von entscheidender Bedeutung sein kann. Wenn ein Prognosemodell auf der Basis von Verweilzeitverteilungen im Einsatz ist, kann davon ausgegangen werden, daß wegen immer wieder not-

1) Vgl. u.a.: H. Müller-Merbach, a.a.O., S. 407 ff.; S. Gahse, a.a.O., S. 40 ff.; R. Brown, a.a.O., S. 97 ff. und 128 ff.; E. Witte, Finanzplanung der Unternehmung, Prognose und Disposition, Hamburg 1974, S. 81 ff., im folgenden zitiert als "Finanzplanung"; M. Schröder, Einführung in die kurzfristige Zeitreihenprognose und Vergleich der einzelnen Verfahren. In: Prognoserechnung, Hrsg. P. Mertens, Würzburg/Wien 1973, S. 38 ff.; H. Faust, u.a., Prognose im Sparkassenbetrieb, München 1972, S. 112 ff.; W. Wetzel, Univariable mikro-ökonomische Prognosemodelle mit exponentieller Gewichtung der Beobachtungswerte. In: Metrika 6 (1963), Heft 1, S. 155 ff.; K.-H. Wiese, Exponential Smoothing - eine Methode der statistischen Bedarfsvorhersage, IBM Fachbibliothek 1964, Form 78 129; H. Lüttgen, Exponential Smoothing für die Prognoserechnung bei exponentiell fallendem Trend. In: Ablauf- und Planungsforschung 2/1965, S. 323 ff.

wendig werdender Neuerhebungen der Spektren die Erhebungselemente ständig erfaßt, wenn auch nicht direkt ausgewertet werden, wodurch eine evtl. Neuerhebung dann sehr vereinfacht wird. Obwohl der Nutzen guter Spektrenprognose über den von Neuerhebungen hinausgeht, muß sich also ein Prognoseverfahren für die Verteilungen aus Wirtschaftlichkeitsgründen durch gute Anwendungsmöglichkeiten auszeichnen. Die wesentlichen Vorteile¹⁾ des Verfahrens der exponentiellen Glättung liegen erstens in der unterschiedlichen Gewichtung der Daten zurückliegender Perioden, wodurch die Bedeutung jüngerer Daten gegenüber der älterer Daten hervorgehoben werden kann. Zweitens ist der Speicherbedarf bei EDV-Anlagen sehr gering. Drittens bedarf das Verfahren eines geringen Rechenaufwandes. Und schließlich ist es möglich, das Verfahren mit einem Lerneffekt auszustatten.

Nun ist unter dem Verfahren des exponentiellen Glättens nicht eine genau spezifizierte Methode zu verstehen, sondern es gibt eine Reihe verschiedener Ausgestaltungsmöglichkeiten. Man unterscheidet das Exponential Smoothing erster Ordnung, zweiter Ordnung und höherer Ordnung, wobei quadratische, kubische usw. Ansätze möglich sind. "Durch spezielle Weiterentwicklungen kann man auch exponentiell oder hyperbolisch oder in noch anderer Weise fallende oder steigende Trends und auch Saisoneinflüsse einbeziehen."²⁾ Welches Verfahren das jeweils günstigste ist, kann nur im praktischen Anwendungsfall entschieden werden, wenn Vorstellungen oder auch Kenntnisse über die Charakteristik der Veränderungen der Verweilzeitverteilungen vorliegen. Obwohl somit in dieser Arbeit ein Verfahren relativ willkürlich ausgewählt werden muß, wollen wir doch bewußt das Exponential Smoothing zweiter Ordnung (Double Exponential Smoothing)³⁾ herausgreifen.

1) Vgl. S. Gahse, a.a.O., S. 40

2) H. Müller-Merbach, a.a.O., S. 411

3) R. Brown, a.a.O., S. 128 ff.

Diese Art ist nicht nur die in der Praxis am häufigsten angewendete, sondern bietet uns den Vorteil, neben der relativ einfachen Handhabung auch lineare Trends zu berücksichtigen, was eine Prognose der Verweilzeitverteilungen für mehrere Perioden ermöglicht.

Das Grundprinzip des exponentiellen Glättens beruht auf der unterschiedlichen Gewichtung der zurückliegenden Werte. "Hier wird ein gewichtetes arithmetisches Mittel aus den Vergangenheitswerten gebildet, wobei der jüngste Meßwert mit einem Faktor α , der zwischen 0 und 1 liegen muß, der vorletzte Meßwert mit $\alpha \cdot (1 - \alpha)$, der vorvorletzte mit $\alpha \cdot (1 - \alpha)^2$ usw. gewichtet wird".¹⁾ Die Summe der gewichteten Werte, die theoretisch von 0 bis ∞ reichen, ergibt dann den exponentiell geglätteten Mittelwert erster Ordnung:

$$s_t^1 = \alpha s_t + \alpha(1 - \alpha) s_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 s_{t-2} + \dots = \alpha \sum_{j=0}^{\infty} (1 - \alpha)^j s_{t-j}$$

Mit $0 \leq \alpha \leq 1$ ergibt sich:

$$\alpha \sum_{j=0}^{\infty} (1 - \alpha)^j = 1,$$

was durch die Entwicklung einer geometrischen Reihe nachgewiesen werden kann.²⁾

Obige Gleichung würde verlangen, daß unendlich viele Werte zu gewichten und aufzuaddieren sind. Durch eine Umformulierung, die im einzelnen hier nicht erläutert werden soll, kommt man zu der Gleichung:³⁾

1) H. Müller-Merbach, a.a.O., S. 407

2) Vgl. M. Schröder, a.a.O., S. 41

3) Vgl. R. Brown, a.a.O., S. 128; H. Müller-Merbach, a.a.O., S. 408

$$s_t^1 = \alpha s_t + (1 - \alpha) s_{t-1}^1$$

Dabei bedeutet:

s_t^1 : exponentieller Mittelwert der Periode t

s_{t-1}^1 : exponentieller Mittelwert der Periode $t - 1$

α : Glättungsfaktor

s_t : Meßwert der Periode t

Durch rekursives Einsetzen der Werte kann man die Richtigkeit der Umformulierung leicht nachprüfen.¹⁾

Führt man die Prognose fortlaufend durch, so ist also lediglich der exponentielle Mittelwert der Periode $t - 1$ zu speichern, um den neuen Mittelwert berechnen zu können. Im Falle des exponentiellen Glättens 1. Ordnung wird der Wert als Prognosewert benützt.

In einem konkreten Anwendungsfall kommt der Ermittlung des Glättungsfaktors α besondere Bedeutung zu. Wie die Gleichungen zeigen, wird durch die Wahl des α -Wertes die Reagibilität bzw. Stabilität des Verfahrens geprägt. Da bei einem relativ hohen α -Wert die jüngeren Daten stärker gewichtet werden, paßt sich die Prognose dem Verlauf der Meßwerte schneller an, wodurch allerdings auch Zufallsschwankungen verstärkt auf das Modell übertragen werden. Demgegenüber führt ein niedriger α -Wert zu einem ausgeglicheneren Prognoseverlauf, wobei die Zufallsschwankungen im Modell weniger erfaßt werden; entsprechend langsam passen sich die Werte dann auch Veränderungen der Ausgangsdaten an.²⁾

Diese Aussagen sind zweifelsohne sehr pauschal und bedürfen in einem konkreten Anwendungsfall näherer Be-

1) Vgl. M. Schröder, a.a.O., S. 40

2) Vgl. H. Müller-Merbach, a.a.O., S. 408

trachtung. Ein relativ einfaches Ermittlungsverfahren der α -Werte knüpft an das durchschnittliche Alter der betrachteten Werte an und leitet sich aus den Überlegungen zur Berechnung der gleitenden Durchschnitte ab.¹⁾ Ohne die Vorgehensweise im einzelnen erläutern zu wollen, sei die Formel zur Ermittlung des α -Wertes mittels dieses Verfahrens angegeben:²⁾

$$\alpha = \frac{2}{N + 1}$$

N ist die Anzahl der Daten, deren Gewichte sich zu annähernd 100% ergänzen³⁾ (100% ist nur theoretisch erreichbar, da die Summation von 0 bis ∞ reicht). Sollen z.B. die letzten 9 Daten das Prognoseergebnis im wesentlichen beeinflussen, so errechnet sich daraus ein α -Wert von 0,2.

Des weiteren kann das Verhalten des Modells bei Auftreten von Störfunktionen für verschiedene α -Werte getestet werden, wodurch dann besonders die Reagibilität des Verfahrens herausgestellt wird.⁴⁾ Schließlich können die α -Werte an die festgestellten Prognoseabweichungen geknüpft werden, wodurch ein adaptives System entsteht.⁵⁾ Die Möglichkeiten der Bestimmung der α -Werte können im Rahmen dieser Arbeit nicht eingehend behandelt werden; da sie jedoch zur generellen Beurteilung des Verfahrens der exponentiellen Glättung wichtig sind, sollten sie nicht unerwähnt bleiben und können dem angegebenen grund-

1) Vgl. R. Brown, a.a.O., S. 106

2) Vgl. Ebenda, S. 108

3) Vgl. M. Schröder, a.a.O., S. 44

4) Vgl. R. Brown, a.a.O., S. 145 ff.

5) Vgl. R. Brown, a.a.O., S. 158 ff. und 168 ff.

legenden Buch von Brown entnommen werden. Als Erfahrungswerte können für α die Werte 0,1 bis 0,3 angenommen werden.¹⁾

Ausgehend vom exponentiellen Glätten erster Ordnung kann nun zum exponentiellen Glätten zweiter Ordnung (Double Exponential Smoothing) übergegangen werden. Hier ist zunächst ein geglätteter Mittelwert zweiter Ordnung zu bestimmen, der sich unter Verwendung des Mittelwerts erster Ordnung folgendermaßen darstellen läßt.²⁾

$$S_t^2 = \alpha S_t^1 + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}^2$$

Durch rekursives Einsetzen läßt sich zeigen, daß:

$$S_t^2 = \alpha \sum_{j=0}^{\infty} (1 - \alpha)^j S_{t-j}^1 \quad \text{ist.}$$

Dabei bedeuten:

S_t^2 : exponentieller Mittelwert zweiter Ordnung
der Periode t

S_{t-1}^2 : exponentieller Mittelwert zweiter Ordnung der
Periode $t - 1$

Wie die Gleichungen zeigen, wird der exponentielle Mittelwert zweiter Ordnung entsprechend der Methode des exponentiellen Glättens erster Ordnung berechnet, wobei die exponentiellen Mittelwerte erster Ordnung der Perioden t bis $t - j$ als "Meßwerte" aufgefaßt werden.

Will man nun mit dieser Methode - wie oben angedeutet - lineare Trends berücksichtigen, so müssen mit den ge-

1) Vgl. K. Reif, Bedarfsvorhersagen mittels mathematisch-statistischer Verfahren. IBM Fachbibliothek 1966, Form 81518, S. 9

2) Vgl. R. Brown, a.a.O., S. 128

gegebenen Größen die Koeffizienten eines linearen Modells bestimmt werden können. Bezeichnet man mit $\hat{a}_t$ den Grundwert und mit $\hat{b}_t$ das Steigungsmaß in einem linearen Modell, so können die Zusammenhänge folgendermaßen dargestellt werden:

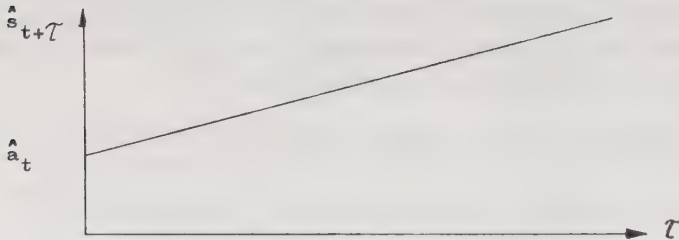


Abb. 20: Lineares Trendmodell des exponentiellen Glättens zweiter Ordnung

Daraus läßt sich die Vorhersagegleichung unmittelbar ableiten:

$$\hat{s}_{t+\tau} = \hat{a}_t + \hat{b}_t \cdot \tau$$

$$\tau = 0, 1, \dots, T_0$$

T_0 : bestimmt den möglichen Prognosezeitraum

Man kann nun zeigen, daß sich die Koeffizienten $\hat{a}$ und $\hat{b}$ des linearen Modells aus dem exponentiellen Mittelwert erster und zweiter Ordnung sowie dem Glättungsfaktor α zusammensetzen. Ohne die einzelnen Schritte zur Ermittlung der Koeffizienten nachvollziehen zu wollen,¹⁾ wird hier lediglich das Ergebnis angegeben.²⁾ Danach errechnet sich der Periodengrundwert:

1) Vgl. M. Schröder, a.a.O., S. 58; H. Müller-Merbach, a.a.O., S. 408 ff.

2) Vgl. R. Brown, a.a.O., S. 129

$$\hat{a}_t = 2s_t^1 - s_t^2$$

und der Trendanstieg:

$$\hat{b}_t = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (s_t^1 - s_t^2)$$

Durch Einsetzen der Werte in obige Prognosegleichung lassen sich dann die Prognosewerte für T_0 Perioden berechnen:

$$\hat{s}_{t+\tau} = 2s_t^1 - s_t^2 + \frac{\alpha}{1 - \alpha} (s_t^1 - s_t^2) \cdot \tau$$

Aus den Gleichungen ist ersichtlich, daß neben den jeweiligen Meßwerten nur die s_{t-1}^1 und s_{t-1}^2 zu speichern sind, um die Prognosewerte berechnen zu können, was die Anwendung des Verfahrens enorm erleichtert.

Bei der laufenden Anwendung eines solchen Modells ergibt sich die Kenntnis dieser Größe automatisch aus der vorangegangenen Periode. Soll dieses Modell jedoch neu eingesetzt werden, so sind die Ausgangsdaten zunächst zu beschaffen. Wie die Gleichungen zeigen, sind dazu theoretisch unendlich viele Meßwerte erforderlich. Je nach Wahl eines bestimmten α -Wertes ist jedoch der wesentliche Einfluß auf relativ wenig Vergangenheitswerte begrenzt, so daß daraus eine gute Näherung gefunden werden kann. "Falls sie (diese Werte, d.Verf.) nicht verfügbar sind, wählt man meistens den einfachen Ausweg, daß man aus den n verfügbaren Werten einen Mittelwert und einen mittleren Anstieg mit Hilfe der Trendrechnung bestimmt und mit diesen Zahlen das Verfahren der exponentiellen Glättung in der mittleren der n Perioden anlaufen läßt."¹⁾ Sind die so ermittelten Werte sehr unsicher, so kann man zur schnelleren Anpassung des Prognosemodells am Anfang mit einem relativ hohen α -Wert rechnen, der im Zeitablauf dann wieder verkleinert wird.²⁾

1) H. Müller-Merbach, a.a.O., S. 411

2) Vgl. M. Schröder, a.a.O., S. 59

533. Die Anwendung des Double Exponential Smoothing auf die Schätzung der Verweilzeitverteilungen

Sind die Ausgangsgrößen je nach den zur Verfügung stehenden Daten ermittelt, kann das Verfahren eingesetzt werden. Handelt es sich bei dem Schätzwert um eine skalare Größe, so kann die Prognosemethode in der beschriebenen Weise unmittelbar übernommen werden, und die ermittelten Größen unterliegen keinerlei Restriktionen. Anders ist es jedoch bei den Verweilzeitverteilungen, die als Vektoren dargestellt werden und somit mehrere Komponenten aufweisen. Die Schätzung der Verteilungsänderung kann nicht mehr mittels einer Prognosefunktion geschehen, sondern die einzelnen Vektorkomponenten sind getrennt aus den früheren Komponenten in der gleichen Anordnung zu prognostizieren. Ist die maximale Komponentenzahl der zu erfassenden Verteilungen $n_{\max}$ (die Komponentenzahl der Spektren kann sich im Zeitablauf ebenfalls verändern), so sind auch $n_{\max}$ Prognosefunktionen zur Errechnung der neuen Spektren erforderlich, wobei die Glättungskonstante für alle Komponenten den gleichen Wert erhalten muß. Entsprechend der Indizierung der einzelnen Vektorkomponenten muß auch für die Größen des Prognosemodells ein "Komponenten-Index" eingeführt werden:¹⁾

- s_t^i : Wert der i-ten Komponente des Vektors in der Periode t
- s_t^{i1} : exponentieller Mittelwert erster Ordnung der i-ten Komponente in der Periode t
- s_t^{i2} : exponentieller Mittelwert zweiter Ordnung der i-ten Komponente in der Periode t

1) Der Index i ist im Unterschied zu früheren Bezeichnungen nach oben gesetzt, da nun zusätzlich ein Zeitindex erforderlich wird.

$\hat{a}_t^i$: Periodengrundwert der i-ten Komponente in der Periode t

$\hat{b}_t^i$: Trendanstieg der i-ten Komponente in der Periode t

$\hat{s}_t^i$: Prognostizierte Vektorkomponente i für die Periode t

$$i = 0, 1, \dots, n$$

An einem fiktiven Zahlenbeispiel soll das Gesagte verdeutlicht werden. Zur Vereinfachung wird angenommen, daß die Verteilung seit langer Zeit konstant ist, so daß die Anfangswerte der exponentiellen Mittelwerte gleich den früheren Komponenten sind, was sich aus den Gleichungen unmittelbar ergibt. Für den Phasenübergang Devisenforderungen $\longrightarrow$ Deviseneinnahmen werde beispielhaft angenommen, daß das bisher konstante Übergangsverhalten aufgrund der Einführung eines effektiveren Mahnwesens, starken Schwankungen im Zinsgefüge beider Länder, sich ändernder konjunktureller Einflußfaktoren u.a.m. in Zukunft Änderungen unterworfen sein wird, die die Einführung einer Spektrenprognose sinnvoll erscheinen lassen. Dabei habe das bisherige Liquidationsspektrum folgende Werte:

$$t: \hat{s}_t^i = (0; 0; 0,3; 0,4; 0,2; 0)$$

Damit ergibt sich für die Prognose folgende Ausgangssituation:

Periode	Prognose- größen	Komponenten i					
		0	1	2	3	4	5
t	s_t^i	0	0	0,3	0,4	0,2	0
	$s_t^{1i} = s_{t-1}^{1i}$	0	0	0,3	0,4	0,2	0
	s_t^{2i}	0	0	0,3	0,4	0,2	0
	a_t^i	0	0	0,3	0,4	0,2	0
	b_t^i	0	0	0	0	0	0
	$s_{t+1}^{1i} \text{ bis } s_{t+7}^{1i}$	0	0	0,3	0,4	0,2	0

Tab. 6: Ausgangsgrößen der Prognose in der Periode t

Aufgrund der veränderten Situation habe sich die Prognosequalität verschlechtert, so daß die zur Kontrolle angewendeten Maßzahlen eine Neuerhebung des Spektrums für die Periode $t + 1$ verlangen. Dabei ergeben sich für Periode $t + 1$ folgende Größen (Tab. 7). (Für die Berechnung der Prognosegrößen wird einheitlich $\alpha = 0,2$ zugrundegelegt. Für die Werte der "ermittelten" Spektren der Perioden $t + 1$ und $t + 12$ (vgl. Tab. 7 und 8) sind fiktive Zahlen angenommen.)

Periode	Prognose- größen	Komponenten i					
		0	1	2	3	4	5
t+1	s_{t+1}^i	0	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1
	s_{t+1}^{1i}	0	0,02	0,32	0,38	0,18	0,02
	s_{t+1}^{2i}	0	0,004	0,304	0,396	0,196	0,004
	$\hat{a}_{t+1}^i$	0	0,036	0,336	0,364	0,164	0,036
	$\hat{b}_{t+1}^i$	0	0,004	0,004	-0,004	-0,004	0,004
	$\hat{s}_{t+2}^i$	0	0,04	0,34	0,360	0,160	0,04

Tab. 7: Ausgangsgrößen der Prognose in der Periode
t + 1 und das prognostizierte Spektrum für
die Periode t + 2

Unter Ausnützung des Trendmodells lassen sich nun die
Spektren für die folgenden T_0 Perioden errechnen. Z.B.:

$$t + 3: \hat{s}_{t+3} = 0; 0,044; 0,344; 0,356; 0,156; 0,044$$

$$t + 4: \hat{s}_{t+4} = 0; 0,048; 0,348; 0,352; 0,152; 0,048$$

⋮

$$t + 11: \hat{s}_{t+11} = 0; 0,076; 0,376; 0,324; 0,124; 0,076$$

Wie oben vorgeschlagen, können diese prognostizierten
Verteilungen solange benutzt werden, bis das angewendete
Kontrollverfahren aufgrund nachlassender Prognosequalität
wieder eine Neuerhebung verlangt. Man könnte jedoch trotz

des Prognoseverfahrens in jeder Periode die Spektren neu ermitteln - etwa nach dem Prinzip der statistischen Qualitätskontrollen - und die Prognosen zukünftiger Spektren somit auf dem neuesten Datenmaterial aufbauen. Dabei könnten insgesamt die Prognoseergebnisse verbessert werden, was allerdings einen erheblichen Revisionsaufwand bedeuten würde. In diesem Fall müßten quasi alle errechneten Prognosewerte in jeder Periode revidiert werden. Die Vorgehensweise der Spektrenprognose wäre dann in Analogie zu dem Übergang zwischen t und $t + 1$ für alle Phasen durchzuführen.

Wir wollen hier von der weniger aufwendigen - und damit allerdings ungenaueren - Möglichkeit ausgehen und die prognostizierten Spektren solange benutzen, bis sie die geforderte Prognosequalität nicht mehr erbringen. (In praxi entscheiden über die Art der angewandten Methode Wirtschaftlichkeitskriterien, die oben bereits diskutiert wurden.) Dabei wird angenommen, daß die prognostizierten Spektren bis zur elften Periode durch die Maßzahlen "akzeptiert" werden, und für die zwölfte Periode eine Neuerhebung notwendig wird. Damit ergeben sich folgende Werte:

Periode	Prognosegrößen	Komponenten i					
		0	1	2	3	4	5
t+12	s_{t+12}^i	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1	0
	S_{t+12}^{1i}	0,02	0,056	0,356	0,324	0,164	0,016
	S_{t+12}^{2i}	0,004	0,0144	0,3144	0,3816	0,1896	0,0064
	a_{t+12}^i	0,036	0,0976	0,3976	0,2664	0,1384	0,0256
	b_{t+12}^i	0,004	0,0104	0,0104	0,0144	0,0064	0,0024
	s_{t+13}^i	0,04	0,1080	0,4080	0,2520	0,1320	0,0280

Tab. 8: Ausgangsgrößen der Prognose in der Periode t+12 und das prognostizierte Spektrum für die Periode t+13

Von der zwölften Periode ausgehend können nun wieder solange die prognostizierten Spektren benutzt werden, bis sie den Qualitätserfordernissen nicht mehr entsprechen usw.

Bei der hier konzipierten Methode wurde bewußt eine leicht anwendbare Form gewählt, da ein sehr aufwendiges Verfahren zur Spektrenprognose unter Berücksichtigung der sonstigen Überwachungs- und Revisionsmöglichkeiten aus Wirtschaftlichkeitsgründen nicht sinnvoll erscheint. So werden auch nach einer Neuerhebung der Spektren - wie z.B. bei $t + 12$ - zur weiteren Ermittlung der Prognosegrößen - also für $t + 13$ usw. - die exponentiellen Mittelwerte erster und zweiter Ordnung der Revisionsperiode vorher - in diesem Beispiel $t + 1$ - benutzt, ohne die dazwischenliegenden Perioden zu berücksichtigen. Dies führt zu einem sehr niedrigen Rechenaufwand, ist dafür aber nicht ganz korrekt und führt bei einem steigenden Trend zu Unterschätzungen. Der Effekt kann dadurch auf einfache Weise gemindert werden, daß - besonders nach mehreren dazwischenliegenden Perioden - für die Ermittlung der neuen exponentiellen Mittelwerte höhere α -Werte verwendet werden. Des weiteren ist es möglich, die exponentiellen Mittelwerte der Vorperiode approximativ zu bestimmen.

Bei der Anwendung einer Spektrenprognose ist weiterhin zu überlegen, welche Zeitintervalle die Perioden umfassen sollen. Ist das eigentliche Prognosemodell zur Schätzung der Deviseneinnahmen und -ausgaben auf der Basis von Werktagen konzipiert, so scheint eine Revision der Verteilungen in diesen kurzen Zeitintervallen nicht notwendig zu sein, da sich z.B. die Zahlungsgewohnheiten der Kundschaft nicht von einem zum anderen Tag merklich verändern werden. Man wird hier also ähnliche Kriterien zu prüfen haben, wie

sie oben schon besprochen wurden (vgl. Punkt 4321.), um zu einer geeigneten Periodenlänge zu gelangen.

Wie wir gesehen haben, unterliegen die Verweilzeitverteilungen Restriktionen, die auch durch das Prognosemodell nicht aufgegeben werden dürfen. Es ist also zu prüfen, ob folgende Bedingungen bei der Spektrenprognose eingehalten werden:

$$a) \quad 0 \leq s_{t+\tau}^i \quad \text{für alle } \tau$$

$$b) \quad \sum_{i=0}^n s_{t+\tau}^i \leq 1 \quad \text{für alle } \tau$$

Nehmen wir an, daß von der Periode $t + 12$ ausgehend (vgl. Tab. 8) die Prognosespektren für 19 weitere Perioden benutzt werden. Damit ergibt sich für die Periode $t + 31$ folgendes Prognosespektrum:

$$s_{t+31}^i = (0,112; 0,2952; 0,5952; -0,0072; 0,0168; 0,0712)$$

Wie wir unmittelbar feststellen können, wird die Bedingung a) verletzt, da eine Vektorkomponente negativ wird. Die Komponentensumme:

$$\sum_{i=0}^n s_{t+31}^i = 1,0832$$

ist größer als 1, so daß also auch die zweite Bedingung nicht eingehalten wird.

Beide Effekte erklären sich unmittelbar aus der Verwendung des linearen Trends, wodurch die Anstiegskomponente linear in die Zukunft projiziert wird und mit multiplikativer Wirkung die Werte verändert. Da solche veränderten Spektren unseren eingangs getroffenen Definitionen zuwiderlaufen, ist für die Spektrenprognose die Einhaltung der Restriktionen a) und b) ebenfalls zu fordern. Das bedeutet, wenn eine oder

beide Bedingungen verletzt werden, ist eine Neuerhebung des Spektrums notwendig. Die zur Prognoseüberwachung angewandten Maßzahlen werden zwar in aller Regel schon vor dem Auftreten eines der beiden Effekte die Neuerhebung des Spektrums verlangen. Dennoch kann aber nicht angenommen werden, daß diese Restriktionen automatisch erfüllt sind. Ihre Überwachung ist notwendig und muß inform von Nebenbedingungen dem Modell beigegeben werden.

Während eine Überwachung von Restriktion a) immer notwendig ist, kann Restriktion b) nur dann überschritten werden, wenn die Komponentensumme der ermittelten Spektren im Zeitablauf ansteigt. In unserem Beispiel ist die Komponentensumme in der Periode $t = 0,9$, in den Perioden $t + 1$ und $t + 12$ jeweils $1,0$, so daß bei dem linearen Trend nach einer zunächst unbestimmten Anzahl von Perioden eine Komponentensumme Größe 1 auftreten muß. Nimmt die Komponentensumme der ermittelten Spektren im Zeitablauf ab, wird gegebenenfalls durch Restriktion a) eine Neuerhebung angezeigt. Wie nachgewiesen werden kann, bleibt jedoch die Komponentensumme bei sämtlichen prognostizierten Spektren konstant, sofern die der ermittelten Spektren ebenfalls konstant ist. Das bedeutet: $\sum_{i=0}^n \hat{s}_t^i = \text{const. für alle } \tau$.

Um dies zu beweisen, ist zunächst der Nachweis über die Konstanz der Summe der S_t^{11} für alle τ zu erbringen. Dazu ist von der Formel zur Berechnung der exponentiellen Mittelwerte erster Ordnung auszugehen:

$$S_t^{11} = \sum_{j=0}^{\infty} \alpha (1 - \alpha)^j s_{t-j}^i$$

mit

$$\sum_{j=0}^{\infty} \alpha (1 - \alpha)^j = 1$$

Schreiben wir die ermittelten Spektren s_{t-j}^i als Spaltenvektor, dann können wir sie für die verschiedenen Perioden zu einer Matrix zusammenfassen. Stellen wir die $\alpha \cdot (1 - \alpha)^j$

ebenfalls als Spaltenvektor α_j^* dar, so können die exponentiellen Mittelwerte der einzelnen Vektorkomponenten durch Matrixmultiplikation errechnet werden;

$$\begin{pmatrix} s_t^0 & s_{t-1}^0 & \dots & s_{t-\infty}^0 \\ s_t^1 & s_{t-1}^1 & \dots & s_{t-\infty}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_t^n & \dots & s_{t-\infty}^n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \alpha_0^* \\ \alpha_1^* \\ \vdots \\ \alpha_\infty^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_t^{10} \\ s_t^{11} \\ \vdots \\ s_t^{1n} \end{pmatrix}$$

In der Matrix haben nun die Spaltensummen per definitionem den gleichen konstanten Wert, die Komponentensumme von α^* ist - wie gezeigt - 1, so daß die Summe der exponentiellen Mittelwerte ebenfalls den gleichen konstanten Wert annimmt. Ein Beispiel soll das Gesagte verdeutlichen, wobei von einer Vektorkomponentensumme von 0,9 ausgegangen wird und anstatt ∞ nur 4 Perioden betrachtet werden. Für die Beweisführung ergibt sich dadurch kein prinzipieller Unterschied:

$$\begin{pmatrix} 0,3 & 0,1 & 0,0 & 0,2 \\ 0,4 & 0,7 & 0,0 & 0,5 \\ 0,2 & 0,1 & 0,9 & 0,2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,3 \\ 0,2 \\ 0,4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,14 \\ 0,45 \\ 0,31 \end{pmatrix}$$

Man sieht, daß die Spaltensummen jeweils 0,9 sind bis auf die des Vektors α^* , der immer die Komponentensumme 1 hat.

Wie daraus leicht abgeleitet werden kann, läßt sich dieser Beweis gleichermaßen auf alle anderen Perioden anwenden.

Hat aber $\sum_{i=0}^n s_t^{1i}$ für alle t den gleichen konstanten

Wert, so läßt sich nach der Formel:

$$S_t^{2i} = \alpha \cdot \sum_{j=0}^{\infty} (1 - \alpha)^j S_{t-j}^{1i}$$

und der oben aufgezeigten Beweisführung auch der gleiche konstante Wert für $\sum_{i=0}^n S_t^{2i}$ für alle τ nachweisen.

Damit wird aber:

$$\sum_{i=0}^n \hat{s}_{t+\tau}^i = \sum_{i=0}^n s_t^i \quad \text{für alle } \tau,$$

was sich durch Einsetzen der Werte in die Prognosegleichung

$$\hat{s}_t^i = \hat{a}_t^i + \hat{b}_t^i \cdot \tau$$

nachweisen läßt. Die aufgestellte Behauptung, daß bei konstanter Komponentensumme der durch Erhebung ermittelten Verweilzeitverteilungen auch die Komponentensummen aller prognostizierten Spektren konstant sind und dabei den gleichen Wert annehmen, wird damit bestätigt.

Faßt man die einzelnen Komponenten der zu schätzenden Verteilungen zu Zeilenvektoren zusammen, so läßt sich das gesamte Prognosemodell unter Benützung der üblichen Symbolik folgendermaßen in Vektorschreibweise wiedergeben, wobei die Bezugsperiode t zugrundegelegt ist:

$$\hat{s}_{t+\tau}^{1'} = (2S_t^{11'} - S_t^{21'}) + \frac{\alpha}{1-\alpha} (S_t^{11'} - S_t^{21'}) \cdot \tau$$

für alle τ und i

Die Nebenbedingungen:

$$0 \leq \hat{s}_{t+\tau}^i \quad \text{für alle } \tau$$

und $\sum_{i=0}^n \hat{s}_{t+\tau}^i \leq 1 \quad \text{für alle } \tau$

begrenzen den Prognosezeitraum wegen notwendiger Neuerhebungen der Spektren, sofern nicht die angewendeten Maßzahlen schon früher eine Neuermittlung erforderlich machen.

Unter Beachtung der Restriktionen ist mit diesem Modell ein Instrument geschaffen, das auf praktikable Weise die Prognose von Verweilzeitverteilungen zukünftiger Perioden erlaubt. Dabei besteht in einem praktischen Anwendungsfall die Möglichkeit, das Modell durch einfache Modifikation des Trendverlaufs und die Wahl eines geeigneten Glättungsfaktors den speziellen Gegebenheiten anzupassen.

534. Zusammenfassung

Durch die sich ständig wandelnden wirtschaftlichen Gegebenheiten wird sich das Übergangsverhalten zwischen den Phasen des Ablaufschemas im Zeitablauf ändern. Um die gewünschte Prognosequalität zu gewährleisten, ist es daher notwendig, die Verweilzeitverteilungen den neuen Situationen anzupassen. Neben der Neuerhebung der Spektralvektoren besteht dazu die Möglichkeit, die Verweilzeitverteilungen ihrerseits zu prognostizieren, was besonders bei Prognosen für große Zeiträume von Vorteil ist.

Bei der Frage nach einem geeigneten Prognosemodell für die Spektralvektoren sind grundsätzlich die gleichen Kriterien zu prüfen, die bei der Suche nach einer Prognosemethode zur Schätzung der Deviseneinnahmen und -ausgaben heranzuziehen waren. Da die Spektrenprognose in Ergänzung des vorgestellten Prognosemodells und der diskutierten Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten zu sehen ist, wurde der Praktikabilität des Verfahrens großes Gewicht beigemessen.

Die Methode des Exponentiellen Glättens mit ihren breiten Variationsmöglichkeiten bietet hier eine gute Einsatzmöglichkeit, obwohl sie im Gegensatz zur Prognose mittels Ver-

weilzeitverteilungen die sachlogischen Zusammenhänge außer Betracht läßt, die - soweit überhaupt möglich - auch wesentlich schwerer zu erfassen sind. Für die Prognose der Verteilungen zukünftiger Perioden wurde das Double Exponential Smoothing angewendet, das durch die Verwendung eines linearen Trends mittelfristige Prognosen erlaubt. Im Unterschied zur Schätzung skalarer Größen mußten entsprechend der Komponentenzahl der Spektralvektoren mehrere Prognosefunktionen aufgestellt werden, durch die parallel die Komponenten zukünftiger Perioden geschätzt werden können. Da die Vektorenkomponenten und die Komponentensummen per definitionem nicht jeden beliebigen Wert annehmen können, mußte ihr Wertbereich durch Restriktionen zusätzlich begrenzt werden.

Wie bei den Erörterungen mehrfach angeklungen ist, erhebt dieser Modellvorschlag nicht den Anspruch, bezüglich der erreichbaren Prognosequalität der "beste" zu sein. Vielmehr wurde versucht, unter bewußtem Eingehen gewisser Unschärfen ein leicht anwendbares Korrekturmodell für die Verweilzeitverteilungen vorzustellen. Die Rechtfertigung wird daraus abgeleitet, daß das Prognosemodell der Deviseneinnahmen und -ausgaben durch die ständige Revision der Inputgrößen, der Möglichkeit der Neuerhebung der Verweilzeitverteilungen und durch die Anwendung von Maßzahlen zur Überprüfung der Prognosequalität aus Wirtschaftlichkeitsgründen kein komplexeres Prognosemodell zur Schätzung der Verteilungen erlaubt.

54. Regelungstheoretische Überwachungs- und Korrekturmöglichkeit

Im bisherigen Verlauf der Arbeit wurden neben dem eigentlichen Prognosemodell verschiedene Möglichkeiten zur Überwachung und Verbesserung der Prognoseergebnisse vorgestellt.

Im Rahmen eines regelungstheoretischen Ansatzes soll nun versucht werden, die prinzipiellen Prognose-, Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten in ihrem Wirkzusammenhang darzustellen und durch eine zusätzliche Regelung zu ergänzen. Auf eine ausführliche Diskussion der verschiedenen regelungstheoretischen Ansätze¹⁾ und eine eindeutige analytische Be-

-
- 1) Stellvertretend für ein sehr umfangreiches Schrifttum wird folgende Literatursammlung angegeben, die im Verlauf der Arbeit noch ergänzt wird: A. Adam, u.a., *Kybernetische Modelle und Methoden*, Köln/Opladen 1970; H. Freemann, *Discrete-Time Systems, An Introduction to the Theory*, New York/London/Sydney 1965; H. Geyer u. W. Oppelt, *Volkswirtschaftliche Regelungsvorgänge im Vergleich zu Regelungsvorgängen der Technik*, München 1957; A. Griffin, *Multivariable Systeme und Systeme mit optimierender Regelung*, In: *Regelkreistheorie und Datenverarbeitung*, Hrsg. D. Bell und A. Griffin, Berlin 1971, S. 229 ff.; Chr. Landgraf und G. Schneider, *Elemente der Regelungstechnik*, Berlin/Heidelberg/New York, 1970; W. Leonhard, *Die selbsttätige Regelung*, 3. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York 1962; W. Leonhard, *Diskrete Regelsysteme*, Mannheim 1970; J. Mac Cormac, *Adaptive Regelsysteme*, In: *Regelkreistheorie und Datenverarbeitung*, Hrsg. D. Bell und A. Griffin, Berlin 1971, S. 217 ff.; L. Merz, *Grundkurs der Regelungstechnik*, 4. Aufl., München/Wien 1970; K. Ogata, *State Space Analysis of Control Systems*, Englewood Cliffs 1967; E. Pestel und E. Kollmann, *Theorie geregelter Systeme*, 2. Aufl., Braunschweig, o. J. (1968); B. Schiemenz, *Steuereungs- und Regelungsorientierte Anwendung von Entscheidungsmodellen*, In: *BFuP* 1971, S. 709 ff.; B. Schiemenz, *Regelungstheorie und Entscheidungsprozesse*, Wiesbaden 1972, im folgenden zitiert als "Regelungstheorie"; H. Schlitt, *Stochastische Vorgänge in linearen und nichtlinearen Regelkreisen*, Braunschweig 1968; Chr. Schneeweiß, *Anwendung der Wiener'schen Filtertheorie auf Probleme der Produktion und Lagerhaltung*, In: *Ufo* 1969, S. 227 ff.; Chr. Schneeweiß, *Berechnung der Produktionspolitik von Produktions-Lagerhaltungs-Modellen unter Verwendung der Wiener'schen Filtertheorie*, In: *Ufo* 1970, S. 125 ff.; Chr. Schneeweiß, *Regelungstechnische stochastische Optimierungsverfahren in Unternehmensforschung und Wirtschaftstheorie*, Berlin/Heidelberg/New York 1971; W. Solodownikow, *Einführung in die statistische Dynamik linearer Regelungssysteme* (übers. aus d. Russischen), München/Wien/Berlin 1963; J. Tou, *Modern Control Theory*, New York, u.a. 1964

stimmung der Übertragungsglieder muß im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden, da die Vielfalt der zu erörternden Problemkreise den gebotenen Umfang weit überschreiten würde. In diesem Abschnitt kann daher nur die prinzipielle Vorgehensweise und Wirkungsweise regelungstheoretischer Modelle bei der Bestimmung der Deviseneinnahmen und -ausgaben aufgezeigt werden, detaillierte Untersuchungen müssen gesonderten Arbeiten vorbehalten bleiben.

541. Die Grundlagen regelungstheoretischer Modelle

5411. Vorbemerkungen

Der Ursprung regelungstheoretischer Betrachtungen geht auf die Denkansätze der Ganzheitslehre¹⁾ zurück, die die Grund-

1) L.v.Bertalanffy, Zur Allgemeinen Systemlehre. In: *Biologica Generalis*, Bd. 14, Heft 1, Wien 1949, S. 114 ff.; L.v.Bertalanffy, An Outline of General System Theory. In: *The British Journal for the Philosophy of Science*, Bd. I, Heft 2, Edinburgh 1950, S. 134 ff.; H. Fuchs, u.a., Zur Bestimmung des Zeitverhaltens betrieblicher Systeme. In: *ZfB* 1972, S. 779 f., im folgenden zitiert als "Zur Bestimmung"; H. Fuchs, Die Verallgemeinerung der Theorie offener Systeme als Grundlage zur Erforschung und Gestaltung betrieblicher Systeme, Diss., Köln 1971; E. Grochla, Systemtheorie und Organisationstheorie. In: *ZfB* 1970, S. 4, im folgenden zitiert als "Systemtheorie".

lage der Allgemeinen Systemtheorie¹⁾ bilden. Daraus lassen

- 1) In Ergänzung obiger Literaturauswahlen seien noch folgende Arbeiten aufgeführt: W.Ashby, Design for a Brain, The Origin for Adaptiv Behavior, 2. Aufl., London 1960; W.Ashby, An Introduction to Cybernetics, 4. Aufl., London 1961; W. Churchman, Einführung in die Systemanalyse, München 1970; F. Händle und St. Jensen, Systemtheorie und Systemtechnik, München 1974; J.Jirasek, Systemdenken - Zur Bewältigung der Komplexität in der Wirtschaft. In: Die Wirtschaftsprüfung 13/1974, S.341 ff.; G.Kade, u.a., Modellanalyse ökonomischer Systeme. Regelung, Steuerung oder Automatismus? In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, 1968, S.1 ff.; G.Kade und R.Hujer, Sozialkybernetik, Düsseldorf/Wien, 1974; E.Kappler, Systementwicklung. Lernprozesse in betriebswirtschaftlichen Organisationen, Wiesbaden 1972; H.Keidel, Analytisches "Mangement by Exception" in computer-gestützten Informationssystemen. In: DB 10/1975, S.409 ff.; W.Kirsch, Die entscheidungs- und systemorientierte Betriebswirtschaftslehre. In: Wissenschaftstheorie und Betriebswirtschaftslehre. Eine methodologische Kontroverse. Hrsg. G. Dlugos, u.a., Düsseldorf 1972, S. 153 ff.; W.Kirsch, Betriebswirtschaftspolitik und geplanter Wandel betriebswirtschaftlicher Systeme. In: Unternehmensführung und Organisation, Hrsg. W.Kirsch, Wiesbaden 1973, S. 15 ff.; R.Köhler, Systemforschung und Marketing. Zum heuristischen und empirisch-kognitiven Beitrag des Systemansatzes für die Lösung von Marketing-Problemen. In: Systemforschung in der Betriebswirtschaftslehre, Hrsg. E.Jehle, Stuttgart 1975, S.54 ff.; D. Koreimann, Systemanalyse, Berlin/New York 1972; W.Krieg, Kybernetische Grundlagen der Unternehmensgestaltung, Bern/Stuttgart 1971; H.Mirow, Kybernetik-Grundlage einer allgemeinen Theorie der Organisation, Wiesbaden 1969; K.-D. Opp, Kybernetik und Soziologie, Berlin 1970; K.Popper, Logik der Forschung, 3. Aufl., Tübingen 1969; K.Popper, Prognose und Prophetie in den Sozialwissenschaften. In: Logik der Sozialwissenschaften, 6. Aufl., Hrsg. E.Topitsch, Berlin 1970, S.113 ff.; G.Schanz, Funktionalisierung der Wissenschaft? Marginalien zum Systemdenken in der Betriebswirtschaftslehre. In: ZfbF 8/1974, S.544 ff.; G.Schanz, Traditionelle Wissenschaftspraxis und systemtheoretisch-kybernetische Ansätze. In: Systemforschung in der Betriebswirtschaftslehre, Hrsg. E. Jehle, Stuttgart 1975, S. 1 ff.; H.Schlitt, Systemtheorie für regellose Vorgänge, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1960; H.Schwarz, Einführung in die moderne Systemtheorie, Braunschweig 1969; H.Ulrich, Die Unternehmung als produktives soziales System. Grundlagen der allgemeinen Unternehmungslehre, 2. Aufl., Bern/Stuttgart 1970; J.Willems, The Analysis of Feedback Systems, Cambridge, u.a., 1971

sich verschiedene Systembegriffe¹⁾ ableiten, die eine Charakterisierung der jeweils betrachteten Systeme ermöglichen.

Zur Spezifizierung eines bestimmten Systems kann eine Vielzahl von Unterscheidungskriterien herangezogen werden, die wir im einzelnen nicht besprechen wollen. Wesentliche Kriterien²⁾ sind Umfang und Art der Beziehungen eines

-
- 1) Zum Systembegriff vgl.: W. Ashby, General Systems Theory as a New Discipline. In: Management in Perspective, Hrsg. W. Schlender, u.a., Boston 1965, S. 362 ff.; S. Beer, Kybernetik und Management, 3. erw. Aufl., Frankfurt/M. 1967; P. DeRusso, u.a., State Variables for Engineers, New York/London/Sydney 1965; R. Franken und H. Fuchs, Grundbegriffe zur Allgemeinen Systemtheorie. In: Systemtheorie und Betrieb, ZfbF Sonderheft 3/1974, S. 23 ff.; H. Fuchs, Systemtheorie. In: Handwörterbuch der Organisation, Hrsg. E. Grochla, Stuttgart 1969, Sp. 1618 ff., im folgenden zitiert als "Systemtheorie"; E. Kosiol, u.a., Zum Standort der Systemforschung im Rahmen der Wissenschaften. In: ZfbF 1965, S. 337 ff.; H. Langen, Der Betrieb als Regelkreis. In: Organisation und Rechnungswesen, Festschrift für E. Kosiol zu seinem 65. Geburtstag, Hrsg. E. Grochla, Berlin 1964, S. 91 f.; H. Meffert, Zum Problem der betriebswirtschaftlichen Flexibilität. In: ZfbF 1969, S. 785; H. Meffert, Systemtheorie aus betriebswirtschaftlicher Sicht. In: Systemanalyse in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Hrsg. K.-E. Schenk, Berlin o.J. (1971), S. 174 ff.
- 2) Vgl.: L. v. Bertalanffy, Biophysik des Fließgleichgewichts. Einführung in die Physik offener Systeme und ihre Anwendung in der Biologie. (Übers. aus dem Englischen), Braunschweig 1953, S. 1 ff.; K. Boulding, General Systems Theory - The Skeleton of Science. In: General Systems, Bd. 1, 1956, S. 14 ff.; P. De Russo, u.a., a.a.O., S. 6 ff.; H. Freeman, a.a.O., S. 3 ff.; R. Schwarz und B. Friedland, Linear Systems, New York, u.a., 1965, S. 4 ff.; B. Schiemenz, Die mathematische Systemtheorie als Hilfe bei der Bildung betriebswirtschaftlicher Modelle. In: ZfbF 1970, S. 771, im folgenden zitiert als "Die mathematische". Beispiele für offene Systeme finden wir in volkswirtschaftlichen Kreislaufmodellen, in denen die Probleme der Regelung und Steuerung schon sehr früh aufgegriffen wurden. Vgl. die Untersuchungen von Keynes, Marx, Turgot u.a.. Vgl. dazu E. Ehrlicher, u.a. (Hrsg.), Kompendium der Volkswirtschaftslehre, Bd. 1, Göttingen 1969; O. Lange, Einführung in die ökonomische Kybernetik (Übers. aus dem Polnischen), Tübingen 1970, der verschiedene volkswirtschaftliche Modelle direkt als Regelungsmodell formuliert.

Systems zu seiner Umwelt, wodurch dessen Input- und Outputsignale charakterisiert werden. Des weiteren kann ein System durch das Übertragungsverhalten in zeitlicher und quantitativer Hinsicht beschrieben werden. Untersuchen wir die wesentlichen Unterscheidungskriterien bezüglich des betrachteten Anwendungsfalls, so kann der regelungstheoretische Ansatz des Prognosemodells folgendermaßen bezeichnet werden: Das regelungstheoretische Modell ist als offenes System zu konzipieren, dessen diskrete, digitale und gemischt deterministisch-stochastische Ein- bzw. Ausgangssignale durch ein lineares¹⁾, intervallweise zeitinvariantes, dynamisches und stochastisches Übergangsverhalten verbunden sind.

Nach dieser generellen Charakterisierung des vorliegenden Modells sind nun die grundsätzlichen Möglichkeiten der Regelung oder Steuerung zu untersuchen, um nach Kenntnis der prinzipiellen Transformationen das Regelungsmodell als Blockschaltbild darstellen zu können.

5412. Grundformen der Regelung und Steuerung

In einem offenen System können sowohl von der Umwelt als auch vom System selbst Störungen ausgehen, die eine Abweichung des tatsächlichen Wertes von einem vorgegebenen Sollwert bewirken. Die Aufgabe der Regelung und Steuerung

1) Die Eingangsgröße sei x_e , die Ausgangsgröße x_a , dann gilt für ein lineares Glied:

$$x_e(t) = k(t) \cdot x_a(t)$$

Sind zwei Eingangs- und Ausgangsgrößen vorhanden, so gilt bei Linearität:

$$x_a(t) = x_{a1}(t) + x_{a2}(t)$$

Vgl. W. Oppelt, a.a.O., S.25; K. Göldner, Mathematische Grundlagen für Regelungstechniker, Frankfurt/M. und Zürich 1969, S.41 ff.

Zur Behandlung nichtlinearer Regelvorgänge vgl. W. Oppelt, a.a.O., S. 550 ff.; K. Göldner, a.a.O., S.271 ff.; W. Leonhard, Einführung in die Regelungstechnik. Nichtlineare Regelvorgänge, Braunschweig 1970

ist es, diese Abweichungen weitgehendst zu vermeiden, wobei die Ursache der Abweichungen selbst behoben werden kann, oder eine Kompensation der Abweichungen eintritt. Werden dabei die Strömungsgrößen nur quantitativ reguliert, so spricht man von sekundärer Regulation; kann sich die Systemstruktur jedoch einer sich ändernden Umwelt anpassen, so ist eine primäre Regulation gegeben.¹⁾

Die beiden Methoden "Regelung" und "Steuerung" sind dabei durch eine unterschiedliche Vorgehensweise gekennzeichnet. "Unter Steuerung versteht man die Anweisung an ein Systemelement, Störungen unmittelbar bei ihrem Auftreten entgegenzuwirken. Die Störung selbst löst also die Gegenmaßnahme (n) aus. Diese Art der Regulierung sieht keine Rückmeldung über den Erfolg der Maßnahme vor."²⁾ Schematisch läßt sich die Steuerung durch ein Blockschaltbild angeben, wodurch eine sogenannte Steuerkette gebildet wird:³⁾

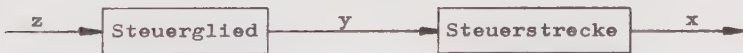


Abb. 21: Das Prinzip der Steuerkette

Dabei bedeutet:

- z : die zu steuernde Störgröße
- y : die Stellgröße, um die Veränderung herbeizuführen
- x : die Steuergröße, also der angestrebte Sollwert

1) Vgl. H.Fuchs, Steuerung und Regelung in betrieblichen Systemen. In: Systemtheorie und Betrieb, ZfbF Sonderheft 3/1974, S. 83 f.; im folgenden zitiert als "Steuerung".

2) J.Baetge und H.-U.Steenken, Theoretische Grundlagen eines Regelungsmodells zur operationalen Planung und Überwachung betriebswirtschaftlicher Prozesse. In: ZfbF 1971, S. 597, im folgenden zitiert als "Theoretische".

3) J.Baetge und H.-U.Steenken, Theoretische, a.a.O., S. 597

Die Steuerstrecke ist die modellmäßige Abbildung des zu lenkenden realen Prozesses, z.B. die Steuerung der Produktionsmenge eines Betriebes, während das Steuerglied den eigentlichen Lenkvorgang beschreibt. Tritt eine Veränderung der Eingangsgröße auf, die eine unerwünschte Veränderung der Steuergröße - und damit eine Abweichung vom angestrebten Sollwert - bewirkt, so veranlaßt das Steuerglied über eine Veränderung der Stellgröße eine entsprechende Reaktion der Steuerstrecke, die die aufgetretene Störung eliminiert. Da keine Rückkopplung vorhanden ist, kann sich die Steuerung über die eingetretene Wirkung nicht orientieren, sondern geht lediglich vom Auftreten einer Störung aus.¹⁾ Die Steuerung kann daher nur dann zu guten Ergebnissen führen, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- "1) Das die Stellgröße produzierende Steuerglied muß vollständig über das System informiert sein, d.h. es muß die Elemente des Systems und deren Zusammenwirken in allen Einzelheiten kennen...
- 2) Alle denkbaren Störgrößen und die bei ihnen auftretenden Störungen müssen bekannt sein."²⁾

Die genannten Voraussetzungen stellen eine sehr starke Einschränkung dar, da sie praktisch eine vollkommene Information über die Störungen bedingen. In praxi wird dieser Kenntnisstand jedoch nicht erreichbar sein, so daß erst eine ex post Analyse bereits eingetretene Abweichungen erkennen läßt, um daraus für spätere Zeitpunkte auf dem Wege der Rückkopplung entsprechende Korrekturen einleiten zu können.

1) Vgl. H. Fuchs, Steuerung, a.a.O., S. 84 f.

2) J. Baetge und H.-U. Steenzen, Theoretische, a.a.O., S. 598. Die Voraussetzungen sind zutreffend bei der angegebenen Steuerkette. Tritt eine veränderte Steuerung ein, sind diese gegebenenfalls zu erweitern. Vgl. J. Baetge, Betriebswirtschaftliche Systemtheorie, Opladen 1974, S. 23 ff., im folgenden zitiert als "Betriebswirtschaftliche".

Auf diesem Prinzip basiert die Regelung, die ohne genaue Kenntnis der Störgrößen aufgrund der festgestellten Abweichungen mittels eines Reglers eine Korrekturanweisung erteilt. Formal läßt sich das Prinzip der Regelung folgendermaßen darstellen:¹⁾

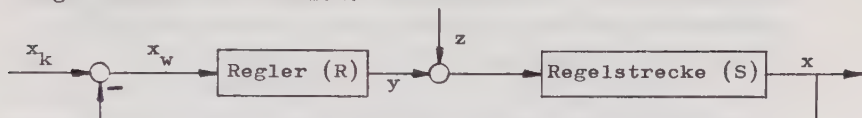


Abb. 22: Das Prinzip der Regelung am Beispiel eines einfachen Regelkreises

Dabei bedeutet:

- x_k : Sollwert (wird häufig als Führungsgröße bezeichnet)
- $x_w = x_k - x$: Regelabweichung
- z : Störgröße
- y : Stellgröße
- x : Regelgröße

Die Symbole:



stellen Mischstellen²⁾ dar und bewirken je nach Vorzeichenwahl eine Addition bzw.

Subtraktion von Größen.

Das Symbol:  bezeichnet die Verzweigung einer bestimmten Größe, wobei die entsprechende Größe unverändert in eine weitere Richtung abgeleitet wird.

1) Vgl. W. Oppelt, a.a.O., S. 19 ff.

2) Vgl. W. Oppelt, a.a.O., S. 33

Die Subtraktionsstelle stellt in diesem Fall eine Meßstelle dar, wodurch die Regelabweichung ermittelt wird. Ist die Regelgröße so groß wie der vorgegebene Sollwert, ist die Regelabweichung Null und somit die Stellgröße y ebenfalls Null, so daß der Regler in diesem Fall keine Wirkung hat. Ergibt sich jedoch für die Regelabweichung ein positiver oder negativer Wert, so wird durch den Regler eine Stellgröße erzeugt, die zusammen mit der Störgröße auf die Regelstrecke wirkt und in die Regelgröße transformiert wird, die dann wieder zur Messung der Regelabweichung herangezogen wird usw. Dabei muß der Sollwert bzw. die Führungsgröße nicht konstant sein, sondern kann sich z.B. im Zeitablauf oder im Zusammenhang mit einer anderen Größe verändern.¹⁾ Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Führungsgröße durch das Modell zu optimieren, wodurch ein entsprechend günstiges Übergangsverhalten erreicht wird.

Die Regelung der dargestellten Form besitzt gegenüber der Steuerung den Nachteil, daß sie erst aufgrund der festgestellten Abweichung eine Korrektur einleiten kann und somit zeitlich später reagiert als die Steuerung. "Sofern die Regelungsmethode nicht schneller abläuft als die Steuerungsmethode, kann ein Regler die Störungen nicht so schnell und exakt kompensieren wie ein Steuerglied. Die Regelung hinkt also ceteris paribus hinter einer entsprechenden Steuerung her und kann den Prozeß nicht so genau regulieren".²⁾ Demgegenüber weist die Regelung den entscheidenden Vorteil auf, daß die Störgrößen nach Art, Zahl und Wirkung nicht bekannt sein müssen, deren Ermittlung in praxi mit einem großen Aufwand verbunden ist, wenn nicht sogar teil-

1) Je nach Verhalten der Führungsgröße bzw. des Sollwerts unterscheidet man zwischen Festwertregelung und Folgeregelung. Vgl. zu den Definitionen DIN 19226, a.a.O., S. 20; bei selbstanpassenden Systemen spricht man von Extremwert- oder Optimalwertregelung. Vgl. W. Oppelt, a.a.O., S. 726 ff.

2) J. Baetge, Betriebswirtschaftliche, a.a.O., S. 29

weise unmöglich sein wird.¹⁾

Aus den Vorteilen beider Regulierungsarten leitet sich die Möglichkeit ab, beide Verfahren zu kombinieren, was zu "Regelkreisen mit Störgrößenaufschaltung"²⁾ führt. "Auf diese Weise gelingt es, Prozesse derart zu steuern und zu regeln, daß die Störungen, soweit sie hinsichtlich ihrer Art und deterministischen Wirkung auf die Regelgröße bekannt sind, ausgesteuert werden, während die übrigen (unbekannten) Störgrößen ausgeregelt werden. Die Regulierung läßt sich damit sehr schnell und genau verwirklichen."³⁾ Das Blockschaltbild dieses kombinierten Kreises setzt sich damit ebenfalls aus Steuergliedern und Regelgliedern zusammen. Je nach Ausgestaltung der Steuerkette und der Regelstrecke lassen sich unterschiedliche Blockschaltbilder konzipieren, deren Grundstruktur sich folgendermaßen darstellen läßt:⁴⁾

1) Bezüglich der genauen Wirkungsweisen, den Vor- und Nachteilen der Regelung und Steuerung hat sich zwischen Baetge und Schiemenz eine eingehende Diskussion ergeben. M.E. basieren die unterschiedlichen Standpunkte teilweise auf Mißverständnissen und haben mehr theoretische Bedeutung, weswegen wir hier auf eine Diskussion verzichten wollen. Bezüglich unseres Anwendungsfalles, der - wie wir später noch sehen werden - von einem ausgeprägten Totzeitverhalten bestimmt wird, führen beide Meinungen ohnehin zum gleichen Ergebnis. Vgl. J. Baetge, Betriebswirtschaftliche, a.a.O., S. 35 f.; J. Baetge, Regelung oder Steuerung ökonomischer Prozesse? In: ZfbF 1973, S. 263 ff.; B. Schiemenz, Steuerung statt Regelung ökonomischer Prozesse? In: ZfbF 1973, S. 273 ff.

2) Vgl. W. Oppelt, a.a.O., S. 525 ff.

3) J. Baetge, Betriebswirtschaftliche, a.a.O., S. 31

4) W. Oppelt, a.a.O., S. 525; J. Baetge, Betriebswirtschaftliche, a.a.O., S. 32

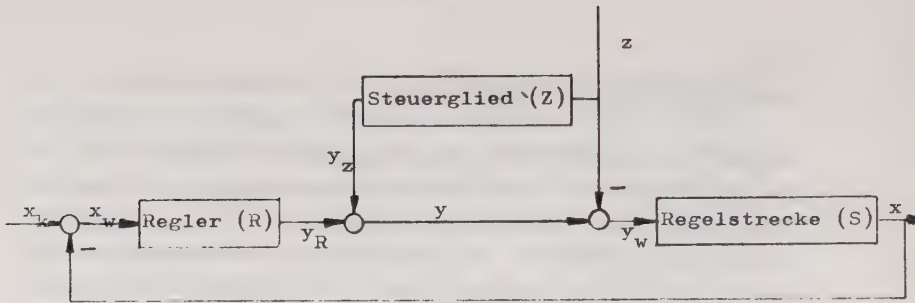


Abb. 23: Regelkreis mit Störgrößenaufschaltung

Dabei bedeutet:

- x_k : Sollwert oder Führungsgröße
- x_w : Regelabweichung
- y_R : Stellgröße des Reglers
- y_Z : Stellgröße des Steuergliedes
- y_w : Stellgröße für die Regelstrecke
- z : Störgröße
- x : Regelgröße

Durch den Regelkreis mit Störgrößenaufschaltung wird erreicht, daß die Störgröße nicht direkt auf die Regelstrecke wirkt und die Regelgröße beeinflusst, sondern zunächst über das vorgeschaltete Steuerglied eine weitere Stellgröße generiert, wodurch zumindest teilweise der Störgröße begegnet wird. Das läßt erwarten, daß die Regelabweichung entsprechend geringer wird, und sich damit insgesamt ein ausgeglicheneres Übergangsverhalten ergibt.

Die bisherigen Überlegungen zur Regelung und Steuerung sind völlig losgelöst von unserem eigentlichen Problem - der Überwachung und Verbesserung der Prognoseergebnisse - erfolgt. Die Konzeption des Regelkreises mit Störgrößenaufschaltung läßt sich jedoch auf die Überwachung eines

Prognosemodells übertragen,¹⁾ indem das eigentliche Prognosemodell als 'Steuerglied' aufgefaßt wird, welches durch den zusätzlichen Regelkreis ergänzt wird, wodurch sich eine weitere Möglichkeit der Prognoseverbesserung eröffnet. Bei der analytischen Formulierung dieses Regelkreises erhebt sich jedoch die Frage nach einem optimalen Regler, der seinerseits von dem angewandten Prognosemodell abhängig ist. Die Ermittlung eines optimalen Reglers kann dabei auf erhebliche mathematische Schwierigkeiten stoßen und wegen der vielen Kombinationsmöglichkeiten und des damit verbundenen hohen Rechenaufwandes für realitätsnahe Modelle analytisch nicht mehr lösbar sein.²⁾ Einen Ausweg bilden heuristische Verfahren, die wohl keine absoluten Optima ermitteln, aber doch befriedigende Lösungen ermöglichen.³⁾ Obwohl im Rahmen dieser Arbeit eine analytische Lösung des zu konzipierenden regelungstheoretischen Ansatzes (vgl. Punkt 542.) insgesamt nicht mehr erfolgen kann, sollen im folgenden Abschnitt die Grundprobleme der analytischen Ermittlung des Übertragungsverhaltens von Regelkreisen dargelegt werden.

5413. Grundlagen der analytischen Ermittlung des Übertragungsverhaltens

"Bei der Analyse und Synthese betrieblicher Systeme mit Hilfe der Instrumentarien der Regelungstheorie steht das Zeitverhalten von Systemen im Mittelpunkt der Betrachtung. Es wird das Zusammenwirken der Elemente im Zeitablauf betrachtet, und es stehen Probleme der Stabilität von Steue-

-
- 1) Vgl. die viel diskutierte Arbeit von A. Simon, On the Application of Servomechanism Theory in the Study of Production Control. In: Econometrica 1952, S.247 ff.; des weiteren J. Baetge und H.-U. Steenken, Regelungstheoretischer Ansatz zur operationalen Planung und Überwachung von Produktion und Lagerung; In: ZfbF 1972, S.27 ff., im folgenden zitiert als "Regelungstheoretischer".
 - 2) Vgl. J. Baetge und H.-U. Steenken, Regelungstheoretischer, a.a.O., S. 61
 - 3) Vgl. J. Baetge und H.-U. Steenken, Regelungstheoretischer, a.a.O., S. 60 ff., hier S. 68

rungen und Regelungen und die Verfahren für deren Untersuchung im Vordergrund des Interesses." ¹⁾ Um dieses Zusammenwirken beschreiben zu können, muß die Dynamik des Prozesses, die sich auf rein zeitliches Verhalten, aber auch auf sich verändernde Strukturen beziehen kann, durch die Übertragungsglieder beschreibbar sein.

Die Abhängigkeit der Ausgangsgröße von der Eingangsgröße wird bei linearem Übergangsverhalten und konstanter Struktur ²⁾ durch lineare Differentialgleichungen ³⁾ beschrieben. Bezeichnet man mit x_a die Ausgangsgrößen, mit x_e die Eingangsgrößen und mit a und b die Koeffizienten der Ableitungen, so läßt sich der Zusammenhang zwischen Eingangsgröße und Ausgangsgröße folgendermaßen beschreiben: ⁴⁾

$$a_n \cdot x_a^{(n)}(t) + \dots + a_3 \cdot x_a'''(t) + a_2 \cdot x_a''(t) + a_1 \cdot x_a'(t) + a_0 \cdot x_a(t) = \\ b_0 \cdot x_e(t) + b_1 \cdot x_e'(t) + b_2 \cdot x_e''(t) + \dots + b_m \cdot x_e^{(m)}(t)$$

Diese lineare, inhomogene Differentialgleichung n -ten Grades ($n > m$) ist für die praktische Berechnung sehr umständlich, weswegen in der regelungstheoretischen Behandlung Transformationen eingeführt werden, die eine einfachere Handhabung ermöglichen. Die mathematischen Grundlagen, auf denen die Umformungen basieren, sind jedoch sehr anspruchsvoll und können hier nicht im einzelnen behandelt werden. Die wichtigsten Transformationsarten sind die auf der Fourier-

1) H. Fuchs, Steuerung, a.a.O., S. 86

2) Auf veränderliche Strukturen soll hier nicht weiter eingegangen werden. Sie sind bei der Einführung des Zustandsraumes von Interesse, wobei die Strukturveränderungen losgelöst von Ein- und Ausgangssignalen betrachtet werden. Vgl. z.B. W. Oppelt, a.a.O., S. 105 ff.; Chr. Landgraf und G. Schneider, a.a.O., B. Schiemenz, Regelungstheoretische Grundkonzepte und ihre Anwendung zur Gestaltung von Produktions-Lagerhaltungs-Systemen. In: ZfbF 1972, S. 442 ff.; im folgenden zitiert als "Regelungstheoretische".

3) Vgl. K. Göldner, a.a.O., S. 54 f.; Zur formalmathematischen Betrachtung von Differentialgleichungen vgl.: J. Bronstein und K. Semendjajew, Taschenbuch der Mathematik, 8. Aufl., Zürich/Frankfurt 1968, S. 385 ff.

4) Vgl. W. Oppelt, a.a.O., S. 45

analyse aufbauende Laplace-Transformation¹⁾, die z-Transformation und die modifizierte z-Transformation²⁾. Das Grundprinzip der Transformationsarten geht von einer Umformung des Originalbereichs in einen Bildbereich aus, der eine einfachere Rechenbarkeit gewährleistet. Im Bildbereich werden die verschiedenen Operationen durchgeführt, und schließlich wird das Ergebnis wiederum in den Originalbereich transformiert. Für die Transformationen sind z.T. umfangreiche Tabellen vorhanden, so daß bei den dort erfaßten Funktionen die Umformung selbst nicht vorgenommen werden muß.³⁾ Eine weitere Möglichkeit der quantitativen Analyse ökonomischer Systeme ist durch die Benützung von Operatoren gegeben.⁴⁾

Wir wollen hier eine Laplace-Transformierte der obigen Differentialgleichung vorstellen, auf der die Darstellung verschiedener noch zu zeigender Übergangsfunktionen beruht. Durch die Einführung komplexer⁵⁾ Frequenzen p wird die Differentialgleichung n -ter Ordnung in ein algebraisches Polynom n -ter Ordnung transformiert ($n > m$)⁶⁾

$$x_a (a_n p^n + \dots + a_1 p^1 + a_0) = (b_0 + b_1 p^1 + \dots + b_m p^m) x_e$$

-
- 1) Vgl. G. Doetsch, Anleitung zum praktischen Gebrauch der Laplace-Transformation und der z-Transformation, 3. Aufl., München/Wien 1967; K. Göldner, a.a.O., S. 183 ff.; G. James, Laplace-Transformationen, 2. Aufl., o.J. (1970).
 - 2) G. Doetsch, a.a.O., S. 170 ff.; E. Jury, Theory and Application of the z-Transform Method, New York/London/Sydney 1964; R. Vich, z-Transformation, Theorie und Anwendung, Berlin 1964
 - 3) Vgl. G. Doetsch, a.a.O., S. 225 ff.
 - 4) Vgl. J. Baetge, Betriebswirtschaftliche, a.a.O., S. 71 ff.; F. Hermsdorf, Lineare Operatoren. In: Automatisierung, Systemanalyse und Systemkontrolle, Hrsg. Brennpunkt Kybernetik, TU Berlin, o.J., S. 1 ff.; O. Lange, a.a.O., S. 35 ff.
 - 5) Vgl. J. Bronstein und K. Semendjajew, a.a.O., S. 424 ff.
 - 6) Unter Annahme einer Dauerschwingung zeigt W. Oppelt, a.a.O., S. 58 f. eine sehr anschauliche Herleitung der Polynomenform.

Setzt man die Ausgangsgröße zur Eingangsgröße in Beziehung, erhält man die allgemein übliche Form der Übergangsfunktion:

$$F(p) = \frac{x_a(p)}{x_e(p)} = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots + b_m p^m}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots + a_n p^n}$$

Diese Übergangsfunktionen beschreiben die Dynamik zwischen Ein- und Ausgangsgrößen und bilden weiterhin die Grundlage für die Untersuchungen des zeitlichen Verhaltens des Systems (z.B. Stabilität). Aus diesem Übergangsverhalten können verschiedene Grundtypen abgeleitet werden, die zur allgemeinen Kennzeichnung eines Systems dienen:¹⁾

- a) Als erstes kann ein idealisiert proportionales Übergangsverhalten auftreten, wobei die p-Glieder verschwinden. Für F gilt dann:

$$F = \frac{b_0}{a_0} = K = \text{konstant}$$

Ausgehend von der Ruhelage ergibt sich damit folgendes Übergangsverhalten:



- b) Beim zweiten idealisierten Fall entspricht die Ausgangsgröße dem zeitlichen Integral der Eingangsgröße:



¹⁾ Die Darstellung der Grundtypen geschieht in Anlehnung an: W. Oppelt, a.a.O., S. 65 ff.

- c) Im dritten idealisierten Fall tritt quasi das Gegenteil von b) ein; die Ausgangsgröße entspricht dem zeitlichen Differentialquotienten der Eingangsgröße:

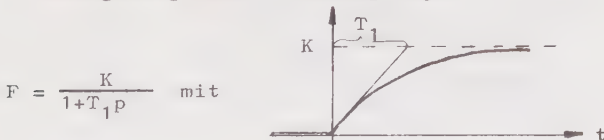


Besonders, wenn man die Übergangsfunktionen auf einen ökonomischen Prozeß bezieht, erscheinen die Formen sehr "schroff" in bezug auf den plötzlichen Übergang und stellen daher idealisierte Grundtypen dar, die realiter in dieser exakten Ausprägung nicht vorkommen. In Wirklichkeit werden die Übertragungsglieder immer Verzögerungen aufweisen, die als T-Verhalten bezeichnet werden:

- d) T-Verhalten. "In der F-Gleichung äußert sich das Verzögerungsverhalten in dem Auftreten der Beiwerte $a_1, a_2, a_3, \dots$. Wir sehen das Verzögerungsglied grundsätzlich als P-Glied an und verbinden es gegebenenfalls mit I- und D-Gliedern"¹⁾.

$$F = \frac{K}{1 + T_1 p + T_2^2 p^2 + \dots + T_n^n p^n}$$

Die Beiwerte $T_1, T_2, \dots$ heißen Verzögerungszeiten. Für eine Verzögerung erster Ordnung ergibt sich:



Damit liegen die vier Grundtypen des Übergangsverhaltens vor, mit denen kybernetische Systeme beschrieben werden.

1) W. Oppelt, a.a.O., S. 66

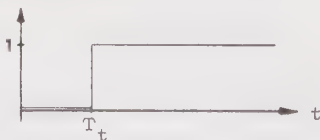
Wie wir aus der Definition linearer Systeme mittels des Superpositionsprinzips ableiten können, lassen sich diese Grundformen ebenfalls additiv überlagern. Auf diese Weise gewinnt man wesentlich komplexere Übergangsfunktionen, die sich je nach den in ihnen enthaltenen Grundfunktionen als PD-, PI-, PID-, PID_{T₂}-Glieder usw. beschreiben lassen.¹⁾

Diese Übertragungsglieder und deren Kombinationen lassen sich alle durch Differentialgleichungen beschreiben und können im Betriebsgeschehen mit konkreten Begriffsinhalten versehen werden. Von dem T-Verhalten, das verzögernde Faktoren des Betriebsgeschehens widerspiegelt, bis zu den in einer Zusammenfassung verschiedener Glieder enthaltenen Vorhaltgliedern,²⁾ für die eine Verwendung im betrieblichen Geschehen für prognostische Zwecke denkbar ist³⁾, ergeben sich in den Übertragungsgliedern weite Interpretationsmöglichkeiten für ökonomische Prozesse.

Ein Verzögerungsglied besonderer Art, das nicht - wie die vorgestellten Grundformen und deren Erweiterungen - durch Differentialgleichungen beschreibbar ist, ist das Regelkreisglied mit Totzeit. Die Totzeit "... zeigt sich bei der Übergangsfunktion des Regelkreisgliedes darin, daß der Eingangsverlauf um die Totzeit T_t verschoben als Ausgangsverlauf auftritt".⁴⁾ Die Totzeit bewirkt also lediglich eine zeitliche Verschiebung bei sonst gleichem Übergangsverhalten:

$$x_a = x_e (t - T_t)$$

oder als F-Gleichung: $F = e^{-pT_t}$



1) W. Oppelt, a.a.O., S. 67 f.

2) Vgl. W. Oppelt, a.a.O., S. 82

3) Vgl. H. Fuchs, Steuerung, a.a.O., S. 95

4) W. Oppelt, a.a.O., S. 79

Dieses Übertragungsglied hat besonders in unserem Anwendungsfall große Bedeutung, da durch die Zeitverschiebung ein diskretes Zeitverhalten, wie es bei dem Prognosemodell auftritt, erfaßbar wird.

Durch die vorgestellten Übertragungsglieder läßt sich das Verhalten der verschiedenen Elemente eines Systems genau beschreiben. Um zu dem Übergangsverhalten des Gesamtsystems zu gelangen, müssen die Einzelfunktionen verbunden werden, da erst durch den Wirkungszusammenhang das Systemverhalten

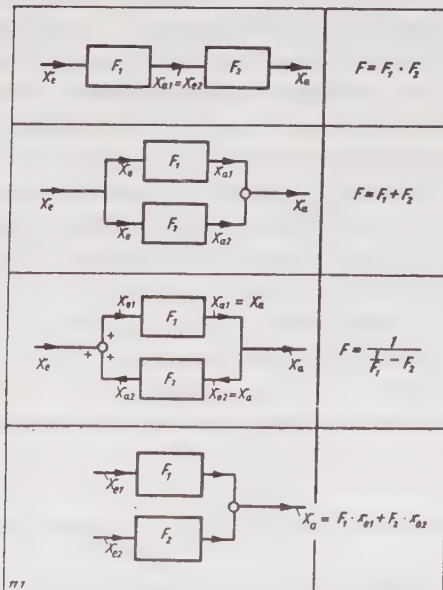


Abb. 24: Verbindungsmöglichkeiten von Regelkreisgliedern und die Berechnung deren Gesamtübertragungsfunktionen

Quelle: W. Oppelt, a.a.O., S. 69

insgesamt eindeutig determiniert wird. Die verschiedenen Verbindungsmöglichkeiten sind durch die Hintereinanderschaltung, die Parallelschaltung, die Kreisschaltung und das Erfassen mehrerer Eingänge gegeben, wie sie in Abb. 24 schematisch dargestellt sind. Das Übergangsverhalten des Systems ergibt sich aus den beigefügten Formeln.¹⁾

Mit diesen "Grundsaltungen" können nun Systeme mit mehreren Elementen und Regelkreisen²⁾ gekoppelt werden, womit das Gesamtsystemverhalten festliegt und hinsichtlich verschiedener Verhaltenskriterien untersucht werden kann.

Das Ziel der Regelung ist es, einen Sollwert möglichst exakt einzuhalten, d.h. Abweichungen zu verhindern. Da jedoch das Prinzip der Regelung erst dann wirksam wird, wenn bereits Abweichungen aufgetreten sind, ist es nicht möglich, eine absolute Abweichungsfreiheit zu erlangen. Es ist von außerordentlichem Interesse für die Beurteilungen eines Systems, wie sich das System nach einer eingetretenen Abweichung verhält. Die Regelungstheorie untersucht dazu "... die Auswirkungen zeitlicher Änderungen der wichtigsten (und nur dieser) Störgrößen und Führungsgrößen auf die Regelgrößen, wobei sie bestimmte Testsignale wie Schwingungen, Sprungfunktion, Nadelimpuls oder Anstiegsfunktion zugrunde legt"³⁾. Diese Testfunktionen sind idealisiert und kommen in dieser Ausprägung in

1) Zur Herleitung der Formeln vgl. W. Oppelt, a.a.O., S. 68 ff.

2) Die Zusammenfassung mehrerer Regelkreise führt zu komplexeren Systemen, wodurch vermaschte Regelkreise oder Kaskadenregelungen entstehen. Vgl. W. Oppelt, a.a.O., S. 34 ff., 490 ff., 510 ff.; J. Baetge, Betriebswirtschaftliche, a.a.O., S. 83 ff.; H. Fuchs, Steuerung, a.a.O., S. 92 f.

3) B. Schiemenz, Regelungstheoretische, a.a.O., S. 436; vgl. auch W. Oppelt, a.a.O., S. 49 ff.; J. Baetge und H.-U. Steenken, Theoretische, a.a.O., S. 616 ff., DIN 19226, a.a.O., S. 10

der Realität nicht vor. Sie stellen jedoch Extremsituationen dar, die es erlauben, auf das tatsächliche Regelverhalten zu schließen. Abb. 25 gibt einen Überblick über die genannten Funktionen:

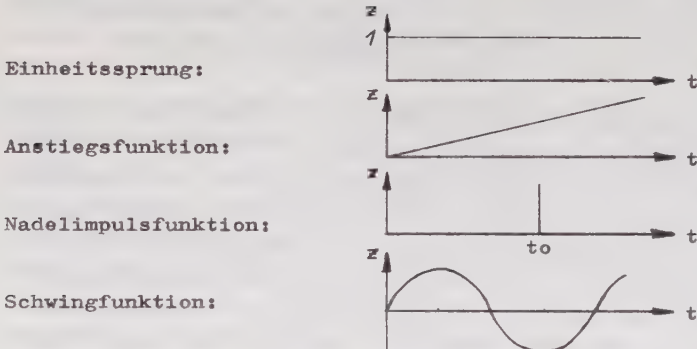


Abb. 25: Testfunktionen zur Beurteilung des Systemverhaltens

Mittels dieser Testfunktionen läßt sich das sog. Einschwingverhalten des Systems bestimmen, wobei man zwischen Kurzzeit- und Langzeitverhalten unterscheidet. Das Langzeitverhalten untersucht die Reaktion des Systems auf eine Störung für $t \rightarrow \infty$ und stellt damit fest, ob das System wieder zur "Ruhe" kommt, d.h. nicht aufschwingt.

Das Systemverhalten unmittelbar nach der Störung wird durch das Kurzzeitverhalten beschrieben. Da in ökonomischen Prozessen Störungen häufig auftreten, und daher ein "Ausschwingen" des Systems kaum möglich ist, ist gerade die Untersuchung des Kurzzeitverhaltens von großer Bedeutung, woraus sich die relative Stabilität des Systems ergibt. "Als relativ stabil bezeichnet man ein System, welches innerhalb einer bestimmten Zeit nur noch Abweichungen vom Gleichgewicht innerhalb einer bestimmten Bandbreite aufweist."¹⁾

1) J. Baetge und H.-U. Steenken, Theoretische, a.a.O., S. 615

Neben dem angesprochenen Stabilitätskriterium¹⁾, das als oberste Maxime gelten kann, ist ein System noch hinsichtlich weiterer Kriterien, wie z.B. Regelgüte, Zuverlässigkeit usw. zu untersuchen. Dies führt dann über zu dem Problemkreis der "optimalen" Reglerbestimmung²⁾, auf den hier nicht mehr eingegangen werden soll.

Diese Ausführungen mögen genügen, die Grundlagen regelungstheoretischer Modelle anzusprechen. Die Vielgestaltigkeit dieses Problemkreises ermöglicht im Rahmen der vorliegenden Arbeit lediglich eine kursorische Betrachtung und kann nur als Ergänzung des vorgestellten Prognosemodells gesehen werden. Dennoch soll im folgenden versucht werden, einen regelungstheoretischen Ansatz für die behandelte Aufgabenstellung zu entwickeln, ohne auf die analytische Optimierung des Verfahrens einzugehen.

542. Regelungstheoretischer Ansatz zur Ermittlung und Überwachung der Deviseneinnahmen und -ausgaben

Zunächst soll versucht werden, die bislang vorgestellten Prognose- und Überwachungsmöglichkeiten in ihrem Wirkzusammenhang darzustellen, um sie anschließend durch das Beifügen eines Regelkreises zu einem ökonomischen Regelungsmodell zu erweitern.

1) Die Stabilitätsprüfung konnte hier nur kurz angesprochen werden, zumal eine Vielzahl von Überprüfungsmöglichkeiten bestehen. Eine sehr eingehende Untersuchung der Stabilität linearer Systeme ist bei W. Oppelt, a.a.O., S. 378 ff. vorgenommen. Vgl. K. Göldner, a.a.O., S. 216 ff.; Für ein diskretes System, vgl. B. Schiemenz, Regelungstheorie, a.a.O., S. 138 ff.; B. Schiemenz, Die Leistungsfähigkeit einfacher betrieblicher Entscheidungsprozesse mit Rückkopplung. In: ZfB 1971, S. 115 ff., im folgenden zitiert als "Die Leistungsfähigkeit".

2) Vgl. J. Baetge und H.-U. Steenken, Regelungstheoretischer, a.a.O., S. 44 ff.; W. Oppelt, a.a.O., S. 462 und 728 ff.

Dazu muß für die Übergangsfunktionen der Verweilzeitverteilungen eine regelungstheoretische Formulierung gefunden werden. Grundsätzlich wäre hier z.B. eine digitale Simulation des Übergangsverhaltens möglich; wir wollen jedoch versuchen, mit den vorgestellten regelungstheoretischen Funktionen das Übergangsverhalten zu beschreiben. Betrachten wir z.B. den Phasenübergang zwischen den Devisenforderungen und den Deviseneinnahmen, so sind entsprechend der Komponentenzahl des Vektors die Forderungsbeträge von $n + 1$ Perioden notwendig, um die Einnahmen einer Periode zu ermitteln. Regelungstheoretisch bedeutet dies, daß wir ein System mit $n + 1$ Eingangssignalen und einem Ausgangssignal haben. Stellen wir die Übergangsfunktion durch eine "Black Box" dar, können wir den Zusammenhang folgendermaßen angeben: ¹⁾

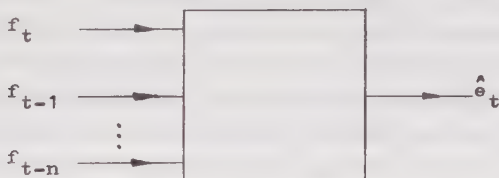


Abb. 26 a: Phasenübergang Devisenforderungen $\longrightarrow$
Deviseneinnahmen

Spaltet man den Schwarzen Kasten in die einzelnen Komponenten des Phasenübergangs auf, so bekommt man die Summe lauter proportionaler Übergangsglieder, wobei die Übertragungsfaktoren durch die Komponenten des Spektralvektors gegeben sind:

1) Hier werden die oben mehrfach erläuterten Symbole wieder verwendet.

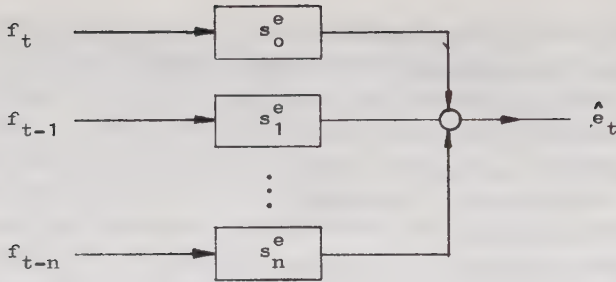


Abb. 26 b: Übertragungsverhalten der Einzelfaktoren

Die Inputgrößen stellen eine diskrete Zeitreihe der Devisenforderungen dar mit dem konstanten Zeitunterschied von einer Periode. Gehen wir von einer bestimmten Periode t aus, so bedeutet dies, daß der Devisenforderungsbetrag der Periode t unmittelbar mit dem Proportionalitätsfaktor s_0 das Ergebnis der Periode t beeinflusst, eine Periode später mit dem Proportionalitätsfaktor s_1 usw.. Der Ausgangsbetrag beeinflusst also jeweils mit einer Totzeit von einer Periode das Ergebnis, so daß man obigen Zusammenhang auch durch die Parallelschaltung von Totzeitgliedern beschreiben kann. Benützen wir die Laplace-Transformation des Totzeitverhaltens, so ergibt sich bei der Totzeit T_t für eine Periode folgendes Blockschaltbild:

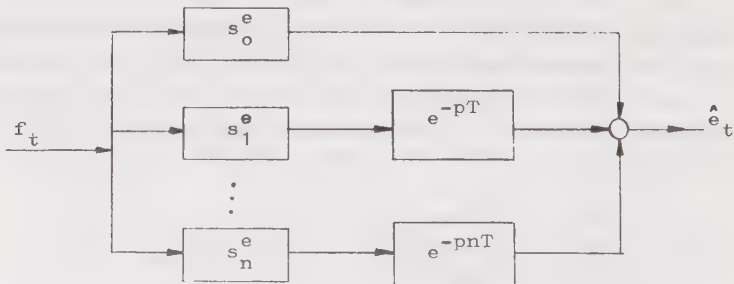
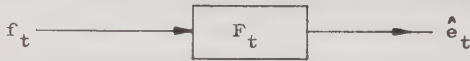


Abb. 26 c: Darstellung des Übergangsverhaltens mittels Totzeitglieder

Entsprechend oben vorgestellter Verbindungsmöglichkeiten (vgl. Abb. 24) lassen sich die Glieder additiv zusammenfügen, wodurch sich folgendes vereinfachtes Blockschaltbild ergibt:



wobei

$$F_t = \sum_{i=0}^n s_i e^{-piT} \quad \text{ist.}$$

Gemäß dem beschriebenen Übergangsverhalten für die Periode t ergeben sich auch die Funktionen für die zukünftigen Perioden. Benützen wir die oben gewählten Bezeichnungen bei der Gesamtdarstellung des Prognosemodells (vgl. Abschnitt 4422., S. 123 ff.) für die einzelnen Phasenübergänge und Prognosezeiträume, so läßt sich die Übergangsfunktion für den hier beispielhaft gewählten Phasenübergang und dessen folgende Periodendurch das Blockschaltbild beschreiben:

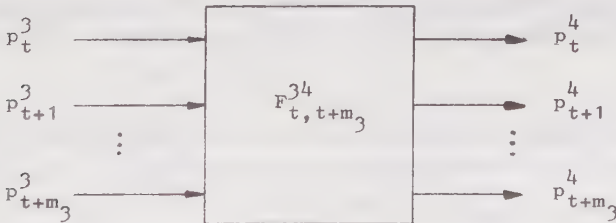


Abb. 26 d: Übergangsverhalten der Devisenforderungen für zukünftige Perioden

Die verschiedenen Eingangssignale und Ausgangssignale lassen sich zu Vektoren zusammenfassen, so daß man zu folgender vereinfachter Schreibweise gelangt:¹⁾

1) Die $\bar{p}^{03}$, $\bar{p}^{04}$ und $\bar{p}^{05}$ beschreiben hier nicht bestimmte Anteile der Importbestellungen (vgl. S. 119), sondern bezeichnen die vektorielle Darstellung der Gesamtgrößen.

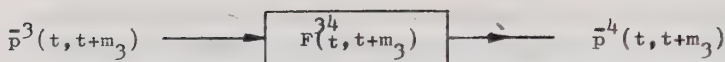
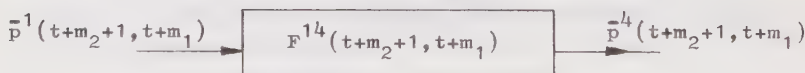
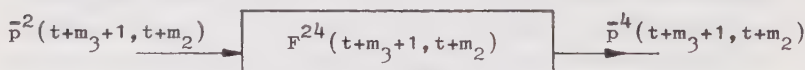


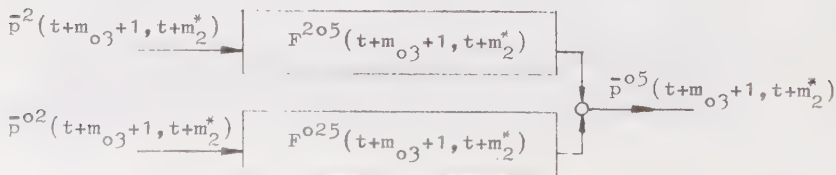
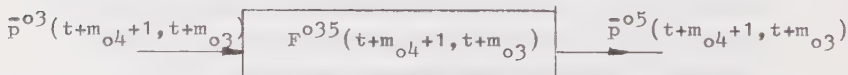
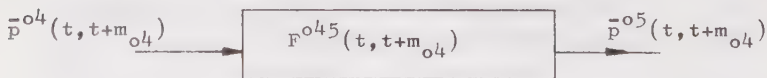
Abb. 26 e: Vektorielle Darstellung des Übergangsverhaltens zukünftiger Perioden

Wie wir in Abschnitt 4422. gesehen haben, findet die Prognose der Deviseneinnahmen und -ausgaben gleichzeitig von mehreren Phasen aus statt, wodurch erreicht wird, daß die Prognosen entsprechend der gewählten Länge des Prognosezeitraums auf dem jeweils neuesten Informationsstand aufbauen. Um den gesamten Prognosezeitraum zu überdecken, muß also auch bei der regelungstheoretischen Konzeption von allen Phasen ausgegangen werden. Unter Verwendung der vektoriellen Schreibweise ergeben sich dann neben dem bereits genannten Phasenübergang insgesamt folgende Systemübergänge:

Für die Deviseneinnahmen:



Für die Devisenausgaben:



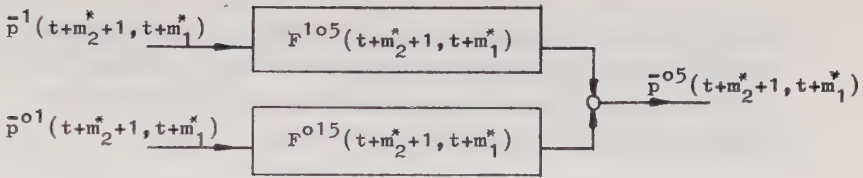


Abb. 27 a: Systemübergänge zur Schätzung der Deviseneinnahmen und -ausgaben für die Perioden t bis $t + m^1$)

Faßt man die Phasen der Einnahmenseite zu dem Vektor $\bar{p}^e(t, t+m)$ und die der Ausgabenseite zu dem Vektor $\bar{p}^a(t, t+m)$ zusammen, so ergibt sich der zu prognostizierende Saldo:

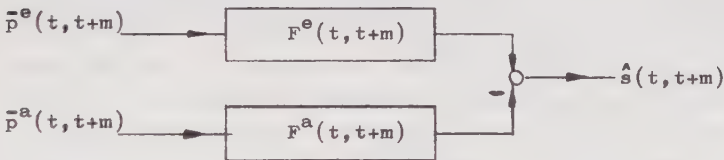


Abb. 27 b: Ermittlung des Saldos aus prognostizierten Deviseneinnahmen und -ausgaben für die Perioden t bis $t + m$

Unter Einbeziehung der 1 verschiedenen Währungen sind die Vektoren in Abb. 27 b durch die Matrizen der Eingangs- und Ausgangssignale zu ersetzen:

$P_{t,k}^e$: Matrix der Eingangssignale

$P_{t,k}^a$: Matrix der Ausgangssignale

$\hat{S}_{t,k}$: Matrix der Saldenprognose

mit $t = t, \dots, t + m$

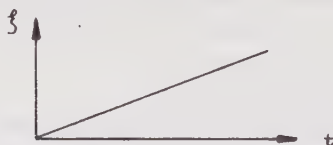
$k = 1, \dots, l$

1) Für den maximalen Prognosezeitraum gilt:
vgl. S. 134

$$m = \min \begin{cases} m_1^* \\ m_1 \end{cases}$$

Mittels der Blockschaltbilder läßt sich nun das Prognosemodell in ein regelungstheoretisches Modell einfügen und entsprechend der noch hinzuzufügenden Möglichkeiten überwachen, korrigieren und verbessern.

Als Überwachungsmöglichkeit hatten wir in Abschnitt 522. verschiedene Maßzahlen zur Beurteilung der Prognosequalität besprochen, die die evtl. Notwendigkeit einer Neuermittlung der Spektren anzeigen sollen. Da der prinzipielle Aussagewert bezüglich des regelungstheoretischen Ansatzes bei allen Maßzahlen der gleiche ist, sollen hier die vorgestellten Möglichkeiten nicht wiederholt werden. Beispielsweise wollen wir die durchschnittlichen Abweichungen¹⁾ herausgreifen, die sich relativ einfach durch ein integrierendes Glied darstellen lassen:



Für die Übertragungsfunktion gilt dann in Form der Laplace-Transformierten:

$$F_m = \frac{K_I}{p}$$

wobei in dem konstanten Faktor K_I die Durchschnittsbildung bereits enthalten ist. Das durch diese Übertragungsfunktion generierte Ausgangssignal bezeichnen wir mit ξ und vergleichen die Größe mit einem fest vorgegebenen Wert ϵ , den wir als Schwellwert betrachten wollen. Für den Vergleich der beiden Größen gelten folgende Regeln:

1) Vgl. Abschnitt 5221.

- a) $|\xi| \leq |\varepsilon|$: die Maßzahl liegt innerhalb des Toleranzbereichs, so daß keine Neuerhebung des Spektrums erforderlich ist.
- b) $|\xi| > |\varepsilon|$: eine Neuerhebung des Spektrums ist angezeigt.

In Erweiterung der reinen Überwachungsmöglichkeiten der Prognoseergebnisse wurde in den Abschnitten 53. die Möglichkeit der Verwendung instationärer Spektren und somit die Möglichkeit der Spektrenprognose diskutiert. Diese Art der Prognoseverbesserung wollen wir ebenfalls berücksichtigen. Dabei gilt die oben getroffene Regelung, daß innerhalb bestimmter Intervalle, die nicht gleich der Basisperiode des eigentlichen Prognosemodells sind, die Spektren nach der Methode des Double Exponential Smoothing geschätzt werden, sofern die angewendete(n) Maßzahl(en) keine Neuerhebung verlangen. Das bedeutet, daß durch ein Umschalttor¹⁾ im Falle ausreichender Prognosequalität (Regel a) die Spektrenprognose eingeleitet bzw. fortgeführt wird, bei Regel b) die Spektrenprognose unterbrochen und dafür eine Neuerhebung eröffnet wird.

Durch die Einbeziehung dieser Problematik kommt man in den Bereich der automatischen Regelsysteme²⁾, die oben nicht besprochen wurden. Da dieser Problembereich eine sehr eingehende Diskussion verlangt, die über den Rahmen der Arbeit weit hinausgehen würde, soll auf eine analytische Betrachtung verzichtet werden. Der Wirkzusammenhang wird rein qualitativ unter Verwendung "Schwarzer Kästen" dar-

1) Vgl. W. Oppelt, a.a.O., S. 618 ff.

2) Vgl. S. Emeljanov, Automatische Regelsysteme mit veränderlicher Struktur, München/Wien 1969; J. Zypkin, Adaption und Lernen in kybernetischen Systemen (Übers. aus dem Russischen), München/Wien 1970

Regelkreise bei jedem Spektrum anzuwenden, das entsprechend dem vorgestellten Ablaufschema verwendet wird. Da sich diese Regelkreise im Prinzip alle gleichen, wollen wir hier auf die weiteren Darstellungen verzichten und im Zusammenhang mit dem zusätzlichen Regelkreis eine Überwachung des Gesamtsaldos vorstellen (vgl. Abb. 30).

Trotz dieser Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten werden zwischen dem tatsächlichen und dem prognostizierten Saldo dennoch Diskrepanzen auftreten. Man kann also versuchen, durch einen zusätzlichen Regelkreis eine weitere Verbesserung herbeizuführen. Unter Hinzufügung der "sonstigen Finanztransaktionen"¹⁾, die entsprechend der Bestimmungsgleichung bezüglich der Kurssicherungsmaßnahmen ebenso zu berücksichtigen sind, läßt sich folgender Regelkreis angeben:

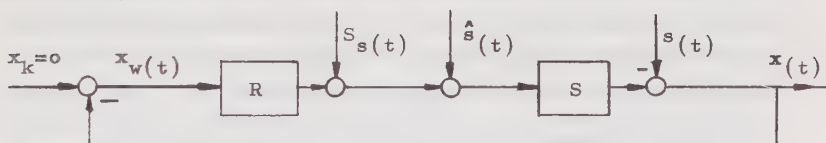


Abb. 29: Regelkreis zur Verbesserung der Prognoseergebnisse

- $S_s(t)$: sonstige Finanztransaktionen
- $\hat{s}(t)$: prognostizierter Devisensaldo
- $s(t)$: tatsächlich aufgetretener Saldo
- $x(t)$: Regelgröße
- $x_k = 0$: Führungsgröße. Unter der Bedingung, daß dieses Modell lediglich der Kurssicherung und nicht der Spekulation dienen soll, stellt $x_k = 0$ das Optimum dar, da in diesem Fall keine Devisenverluste auftreten können.

1) Vgl. Abschnitt 41.

Bei einer Regelabweichung wird also durch den Regler veranlaßt, daß "unabhängig" von den sonstigen Finanztransaktionen und dem prognostizierten Saldo weitere Devisenaktiva oder -passiva angeschafft werden. Insofern stellt der Regler eine Ergänzung zu der Saldenprognose dar, indem er diese nochmals korrigiert. Wie oben jedoch deutlich gemacht wurde, reagiert der Regler erst auf eingetretene Abweichungen. Wird ein Regelungsmodell z.B. auf die Regulierung der Produktion eines Unternehmens angewendet, so bedeutet dies, daß zu hohe Lagerbestände durch eine Drosselung der Produktion abgebaut bzw. Lagerfehlmengen durch eine Steigerung der Produktion im Laufe der Zeit ausgeglichen werden. Bei Devisengeschäften ist jedoch ein durch eine Fehlschätzung eingetretener Verlust irreparabel, sofern man wiederum unterstellt, daß im Laufe der Zeit nicht versucht wird, den Verlust durch Spekulationsgewinne wieder auszugleichen. Das aber bedeutet, daß ein Regelungsmodell für Devisenkurssicherungen die realisierten Abweichungen bereits für zukünftige Perioden auswerten muß, um die für zukünftige Perioden getätigten Kurssicherungsmaßnahmen zu verbessern. Die dargestellten Übergangsfunktionen des Prognosemodells (vgl. Abb. 27a) haben also in Verbindung mit dem Regelungsmodell nur dann einen Sinn, wenn der Regler seinerseits imstande ist, diese zukünftigen Salden zu verbessern.

Die entscheidende Frage ist also: wie kann ein entsprechendes Reglerverhalten konzipiert werden? Dem Verf. ist keine Veröffentlichung bekannt, in der diese Problematik untersucht wurde, deren erfolgreiche Lösung die zusätzliche Überwachung dieses Modells erst sinnvoll erscheinen läßt. Da diese Frage im Rahmen der Arbeit nicht beantwortet werden kann, soll sie einen Anknüpfungspunkt für weitere Untersuchungen bilden. Einen denkbaren Ansatz könnte die Verwendung negativer Totzeiten darstellen, wobei im Zusammenhang mit dem ver-

wendeten Prognosemodell auch eine konforme Modellstruktur erreicht werden könnte.

Unter der Hypothese, daß ein Regler mit den gewünschten Eigenschaften konstruierbar ist, soll nun das Überwachungs- und Korrekturmodell durch den Regelkreis ergänzt werden, wobei als Eingangsgrößen global die einnahmen- bzw. ausgabenverursachenden Größen in Vektorschreibweise verwendet werden. Entsprechend ist lediglich eine globale Korrektur aufgrund der Saldendivergenz eingezeichnet. Für die Regelstrecke wird dabei der Proportionalfaktor -1 verwendet, was hier zumindest als plausibel angesehen werden darf, da über den Regler selbst keine Kenntnisse vorliegen. Das Signalflußbild, das alle diskutierten Prognose-, Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten zusammenfaßt, ergibt sich damit folgendermaßen:

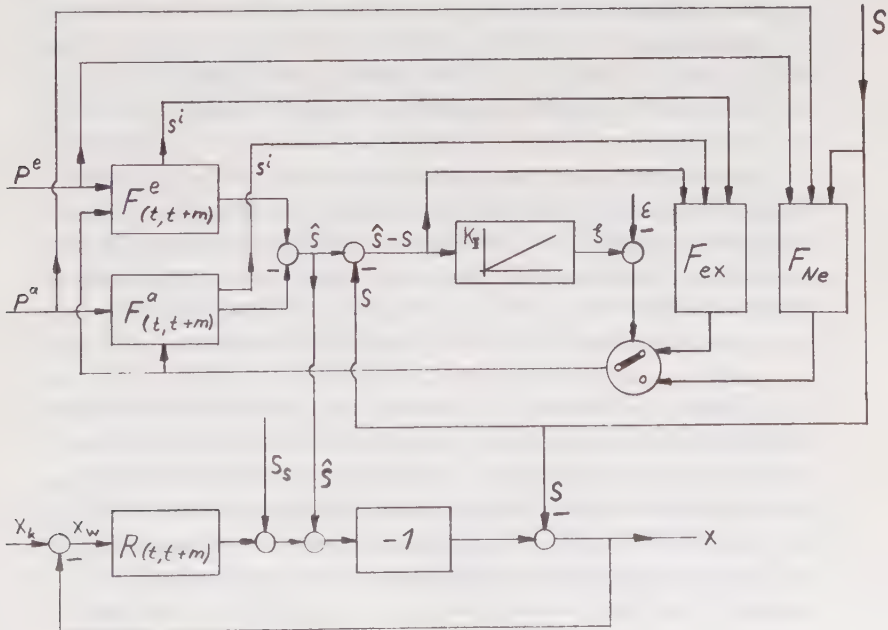


Abb. 30: Blockschaltbild des Gesamtmodells

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Zeit- und Währungsindizes der Strömungsgrößen weggelassen. Bei allen Größen handelt es sich um diskrete Zeitreihen der Perioden t bis $t + m$.

543. Zusammenfassung

Die in den vorangegangenen Abschnitten behandelten Prognose-, Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten stehen nicht isoliert nebeneinander, sondern werden besonders durch ihr Zusammenwirken eine Verbesserung der Prognoseergebnisse gewährleisten. Durch die Konzeption eines Regelungsmodells in Abschnitt 54. sollte versucht werden, den Wirkungszusammenhang der vorgestellten Verfahren aufzuzeigen und durch einen zusätzlichen Regelkreis zu ergänzen.

Die Regulation ökonomischer (und technischer) Prozesse kann durch Steuerung und/oder Regelung erfolgen. Während die Steuerung die genaue Kenntnis der Störgrößen zur Voraussetzung hat, kann die Regelung auch bei unbekannten Einflußfaktoren eine Angleichung der Regelgröße an einen vorgegebenen Sollwert herbeiführen. Die Kombination beider Verfahren führt zu Regelkreisen mit Störgrößenaufschaltung, wobei die bekannten Störgrößen zunächst ausgesteuert, und die Restabweichungen durch einen zusätzlichen Regelkreis zu eliminieren versucht werden.

Um dieses Regelungs-Steuerungs-Prinzip auf den Anwendungsfall übertragen zu können, ist es notwendig, das Übertragungsverhalten des Gesamtmodells analytisch beschreiben zu können. In Abschnitt 5413. wurden die Grundstrukturen regelungstechnischer Übertragungsglieder vorgestellt, wobei dem Totzeitverhalten für unseren Anwendungsfall besondere Bedeutung zukam. Damit ist es möglich, die dis-

kreten Zeitreihen in einem Regelungsmodell zu erfassen und bezüglich ihres Systemverhaltens (z.B. Stabilität) zu untersuchen.

In Abschnitt 542. wurden die zu betrachtenden Phasenübergänge durch die Parallelschaltung von Totzeitgliedern analytisch erfaßt, wodurch eine Berechnung des Devisensaldos für zukünftige Perioden möglich wird. Dabei wurde zunächst von der Stationarität der Verweilzeitverteilungen ausgegangen. Durch die Einbeziehung der verschiedenen Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten sowie des zusätzlichen Regelkreises kommt man in den Bereich automatischer Regelsysteme. Die analytische Formulierung adaptiver Übertragungsglieder für die Verweilzeitverteilungen, die Spektrenprognose, die Steuerstrecke und den zusätzlichen Regler, der die festgestellten Abweichungen bereits für zukünftige Perioden auszuwerten hat, konnte jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr vorgenommen werden. Die Wirkungsweise des Gesamtmodells wurde durch Blockschaltbilder wiedergegeben, wobei die Übertragungsglieder durch "Schwarze Kästen" dargestellt wurden.

Durch das Prognosemodell zur Schätzung der Deviseneinnahmen und -ausgaben und den sich daran anschließenden Kurssicherungsmaßnahmen werden täglich ausgeglichene Deviseneinzelpositionen zu erreichen versucht. Die danach evtl. verbleibenden Restsalden werden durch die Maßzahlen bewertet, die über die Konstanzhaltung oder die Veränderung der Modellgrößen entscheiden. Eine Änderung kann dabei durch die Neuerhebung oder durch die Schätzung der Spektralvektoren erfolgen. Abweichungen, die trotz der Korrektur der Schätzparameter auftreten, werden schließlich durch einen weiteren Regelkreis erfaßt, mit dem die eingetretenen Abweichungen bereits für zukünftige Perioden ausgewertet werden sollen, um dann einen besseren Saldenausgleich herbeiführen zu können.

Mit dem regelungstheoretischen Ansatz sollte nicht versucht werden, einen analytisch voll erfaßbaren Zusammenhang zwischen den betrachteten Werten herzustellen. In Ergänzung des konzipierten Prognosemodells ist dies nicht möglich, da der damit zusammenhängende Problemkreis viel zu komplex ist, um in gebotener Kürze ein entsprechendes Modell entwickeln zu können. So sollte mit dieser Analyse versucht werden, die Prognose-, Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten geschlossen darzustellen und ihren Wirkungszusammenhang aufzuzeigen. Dabei handelt es sich um eine rein hypothetisch zugrundegelegte Struktur, die durch eine analytische Ausarbeitung und durch Tests mittels Störgrößen noch zu verifizieren ist. Nach der analytischen Konzipierung kann dann versucht werden, das Gesamtmodell zu optimieren, um damit ein geeignetes Entscheidungsmodell zu erhalten.

6. Schlußbetrachtung

Infolge der Freigabe der Wechselkurse im Frühjahr 1973 unterliegen die Devisenkurse wesentlich stärkeren Schwankungen, als dies während des Bestehens des Bretton-Woods-Abkommens möglich war. Durch die größeren und schwerer kalkulierbaren Veränderungen der Paritäten wird ein Kursrisiko begründet, das bei einem Unternehmen mit Auslandsbeziehungen zu entsprechend hohen Kursverlusten führen kann. Kursverluste bzw. -gewinne können jedoch nur dann eintreten, wenn bei sich ändernden Devisenkursen gleichzeitig auch offene Währungspositionen in denselben Valuten bestehen. Ein Valutarisiko kann somit durch die Bildung täglich ausgeglichener Deviseneinzelpositionen ausgeschlossen werden. Der Ausgleich der Devisenaktiva und -passiva in jeder Währung wird sich jedoch nicht von selbst ergeben, sondern ist über die Bildung zusätzlicher Devisenaktiva oder -passiva herbeizuführen. Als grundlegende Instrumente kommen hierfür die Vergabe und Inanspruchnahme von Währungskrediten sowie der Abschluß von Devisentermingeschäften in Betracht. Bevor jedoch die Kurssicherungsmaßnahmen ergriffen werden können, muß der abzusichernde Devisensaldo hinsichtlich Betrag und Fälligkeit bekannt sein. Da Kurssicherungsmaßnahmen umso effizienter sind, je frühzeitiger sie getätigt werden, sind die abzusichernden Devisensalden für möglichst große Zeiträume zu schätzen, wodurch sich für das Unternehmen eine entsprechend lange Zeit konstanter Devisenkurse ergibt.

Vor der Einführung eines Prognoseverfahrens zur Schätzung von Devisensalden ist dieses hinsichtlich seiner Wirtschaftlichkeit zu untersuchen. Die Devisenverluste und -gewinne, die ohne Vorausschätzung der Devisensalden auftreten, sind mit den Kosten des Verfahrens und mit den aufgrund von Prognoseabweichungen trotz Kurssicherungs-

maßnahmen eintretenden Devisenverlusten und -gewinnen zu vergleichen. Da es sich bei den zu betrachtenden Größen ebenfalls um Erwartungswerte handelt, muß die Frage nach der Einführung eines Prognosemodells zur Schätzung von Devisensalden als Investitionsentscheidung angesehen werden, über die im Rahmen der betrieblichen Gesamtplanung zu befinden ist.

In unmittelbarem Zusammenhang zu den Überlegungen bezüglich der Einführung eines Prognoseverfahrens steht die Frage nach der Wahl einer geeigneten Prognosemethode. Aus der Vorgehensweise bei der Abwicklung von Exportaufträgen und Importbestellungen leitet sich die Konzeption eines Ablaufschemas ab, das die verschiedenen Phasen des zu betrachtenden Betriebsprozesses in ihrer zeitlichen Abfolge darstellt. Gelingt es, den zwischen den einzelnen Phasen existierenden Kausalzusammenhang durch Übergangsfunktionen zu beschreiben, so kann diese Phasenfolge zur Schätzung der Deviseneinnahmen und -ausgaben herangezogen werden. Der Langen'sche Modellansatz der Verweilzeitverteilungen ermöglicht die Erfassung des zeitlich - quantitativen Zusammenhangs zwischen den einzelnen Phasen, durch deren Zusammenfassung eine mehrgliedrige verzweigte Phasenfolge entsteht, die die gewünschte Prognosemöglichkeit eröffnet.

Durch die Verweilzeitverteilungen wird der stochastische Zusammenhang zwischen den Phasen wiedergegeben, der über empirische Erhebungen ermittelt wird. In dem betrachteten Anwendungsfall kommt dabei der Bemessung der Basisperiode besondere Bedeutung zu, da durch sie die Termingenauigkeit der Prognoseergebnisse festgelegt wird. Zeitlich ungenaue Prognoseergebnisse können neben liquiditätsmäßigen Schwierigkeiten auch erhebliche Kursverluste zur Folge haben, weswegen die Wahl einer möglichst kurzen Basisperiode anzu-

streben ist. Andererseits besteht dann die Gefahr, daß wegen einer zu geringen Anzahl von Geschäftsvorfällen für diesen kurzen Zeitraum kein stochastischer Zusammenhang gegeben ist. In einem konkreten Anwendungsfall muß daher versucht werden, anhand des vorliegenden Datenmaterials eine "Optimalperiode" zu bestimmen.

Da nicht für jedes Währungsgebiet, jede Kundengruppe, jede Produktionsart usw. das gleiche Übergangsverhalten unterstellt werden kann, muß die Möglichkeit der Verwendung unterschiedlicher Verweilzeitverteilungen bestehen. Insbesondere werden die vielen, ständigen Änderungen unterworfenen wirtschaftlichen Einflußfaktoren, die sich hier auch auf den internationalen Bereich erstrecken, eine Änderung des Übergangsverhaltens zwischen den einzelnen Phasen im Zeitablauf bewirken, so daß für die Verweilzeitverteilungen lediglich eine zeitlich begrenzte Stationarität unterstellt werden kann. Das Modell muß somit die Möglichkeit beinhalten, die Verteilungen den sich ändernden Übergangsgesetzmäßigkeiten anpassen zu können.

Besondere Bedeutung kommt bei der Modellkonstruktion den verschiedenen Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten zu, sowie der Notwendigkeit, daß die Prognosen jeweils auf den genauesten Ausgangsgrößen basieren. Der Prognosezeitraum wird dazu in verschiedene Genauigkeitsstufen unterteilt, wobei von genaueren Ausgangsdaten und kürzeren Prognosezeiträumen schrittweise zu ungenaueren Daten und längeren Zeiträumen übergegangen wird. Diese Vorgehensweise eröffnet die Möglichkeit, daß Prognosen für längere Zeiträume überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden können, was zu einer Überwachung der Modellparameter führt. Die Prognosefunktionen, die von den verschiedenen Phasen ausgehen, lassen sich in Matrizenschreibweise darstellen, wodurch eine übersichtliche Modellformulierung gegeben ist. Durch

Saldierung der prognostizierten Werte der Deviseneinnahmen und -ausgaben für sich entsprechende Zeiträume wird der Devisengesamtsaldo errechnet, der über geeignete Kurssicherungsgeschäfte auszugleichen ist.

Die Modellformulierung baut auf dem generellen Fall eines Fertigungsbetriebes auf und läßt sich problemlos auch auf Handelsbetriebe übertragen. Insoweit ist hier ein allgemeiner Ansatz zur Prognose der Deviseneinnahmen und -ausgaben aufgestellt, der in einem konkreten Anwendungsfall noch vieler Korrekturen und Erweiterungen bedürfen wird und keinen Anspruch auf Vollkommenheit erhebt.

Auch wenn das vorgestellte Modell auf ein spezielles Unternehmen sehr gut angewendet werden kann, werden die Prognosewerte immer mehr oder minder stark von den tatsächlichen Werten abweichen. Damit erhebt sich die Frage, ob die Abweichungen im Rahmen einer bestimmten Prognosequalität liegen, oder ob die Modellbedingungen zu überprüfen und evtl. zu korrigieren sind. Um die Abweichungen selbst beurteilen zu können, werden verschiedene statistische Maßzahlen herangezogen. Am Beispiel zweier Prognosezeitreihen werden absolute Fehlermaße und deren relativierte Größen sowie der Regressionskoeffizient in ihrer Wirkungsweise vorgestellt. Durch diese Maßzahlen kann eine bestimmte Prognosequalität vorgegeben werden, bei deren Unterschreitung eine Überprüfung der Modellbedingungen notwendig wird. Außerdem können die Abweichungen hinsichtlich zufälliger und systematischer Fehler unterschieden werden. Während durch verstärktes Auftreten zufälliger Fehler z.B. eine zu kurz bemessene Basisperiode angezeigt werden kann, können die systematischen Fehler einen Hinweis auf ein sich änderndes Übergangsverhalten liefern.

Die vielen wirtschaftlichen und politischen Einflußfaktoren

werden im Zeitablauf zu einer Veränderung des Übergangsverhaltens zwischen den Phasen des Ablaufschemas führen. Um die gewünschte Prognosequalität zu gewährleisten, ist es daher notwendig, die Verweilzeitverteilungen den neuen Gegebenheiten anzupassen. Neben einer Neuerhebung der Verweilzeitverteilungen besteht die Möglichkeit, die Spektralvektoren ihrerseits zu prognostizieren, was besonders bei Prognosen für große Zeiträume von Vorteil ist. Da die Spektrenprognose in Ergänzung des vorgestellten Prognosemodells zur Schätzung der Deviseneinnahmen und -ausgaben gesehen werden muß, wurde bei der Wahl einer geeigneten Prognosemethode der Praktikabilität des Verfahrens großes Gewicht beigemessen. Die Methode des Double Exponential Smoothing bietet die Möglichkeit, unter Zugrundelegung eines linearen Trends die Spektralvektoren für kurz- bis mittelfristige Zeiträume zu prognostizieren. Da es sich hier nicht um eine skalare Größe handelt, muß für jede Komponente des Spektralvektors eine Schätzfunktion aufgestellt werden, was zusätzlich die Formulierung von Nebenbedingungen erforderlich macht. Sollte sich in einem konkreten Anwendungsfall der hypothetisch zugrunde gelegte lineare Trend als ungeeignet erweisen, so läßt sich die vorgestellte Modellkonzeption auch auf andere Funktionstypen übertragen.

Die Flexibilität des Verfahrens, die Möglichkeit der Selbstanpassung der Modellparameter und die günstige Rechenbarkeit rechtfertigen die Anwendung dieser Prognosemethode, obwohl sie in einem gewissen Gegensatz zur Prognose mittels Verweilzeiten steht, da die sachlogischen Zusammenhänge außer Betracht bleiben, und die Prognosewerte aus Vergangenheitswerten abgeleitet werden.

Mit dem Entwurf eines Regelungsmodells kann versucht werden, die vorgestellten Prognose-, Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten zusammenzufassen und zu ergänzen.

Das hat zur Voraussetzung, daß die verschiedenen Modelle analytisch erfaßt werden, um die Übertragungsglieder formelmäßig beschreiben zu können. Da sich das System selbst überwachen und korrigieren soll, ist es notwendig, zumindest die Prognosefunktionen als adaptive Übertragungsglieder zu konzipieren. Ist durch die Verwendung variabler Überwachungswerte eine weitere Verbesserung der Prognoseergebnisse möglich, so sind auch dafür veränderliche Übertragungsfunktionen einzusetzen. In Ergänzung des Prognose-, Überwachungs- und Korrektur - Regelkreises kann mittels eines zusätzlichen Reglers versucht werden, die verbleibenden Prognoseabweichungen zu verwerten. Dazu ist es notwendig, daß der Regler die festgestellten Abweichungen bereits für zukünftige Perioden auszuwerten vermag, indem weitere Sicherungsaktiva und/oder -passiva gebildet werden. Die Hauptschwierigkeit liegt in der Konzeption eines optimalen Reglers, dessen analytische Ermittlung einen außerordentlich hohen Rechenaufwand erfordert. Einen möglichen Ausweg bilden heuristische Verfahren, wobei man sich dann mit relativen Optima bescheiden muß.

Ein analytisch voll erfaßbares Regelungsmodell, in dem die vorgestellten Prognose-, Überwachungs- und Korrekturmöglichkeiten der Devisensalden durch einen zusätzlichen Regler ergänzt werden, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht aufgestellt werden. Die damit verbundene Problematik ist zu vielschichtig, um in gebotener Kürze behandelt werden zu können. Vielmehr sollte mit dem regelungstheoretischen Ansatz versucht werden, den Gesamtzusammenhang der genannten Verfahren aufzuzeigen und die Möglichkeit der Weiterentwicklung zu einem analytischen Regelungsmodell anzudeuten.

Literaturverzeichnis

- Abs, H.J. "Recycling" - Aufgaben und Probleme.
In: Zfk 22/1974, S. 1026f.
- Adam, A.,
Helten, E.,
Scholl, F. Kybernetische Modelle und Methoden.
Einführung für Wirtschaftswissenschaftler,
Köln/Opladen 1970
- Adebahr, H. Zwischenphase zur Bewältigung der Ölkrise.
In: Wirtschaftsdienst, Heft 1/1975, S. 26ff.
- Agthe, K. Das Problem der unsicheren Erwartungen
bei unternehmerischen Planungen und Ent-
scheidungen. In: Unternehmensplanung,
Hrsg. K. Agthe und E. Schnauffer, Baden-
Baden 1963, S. 83ff.
- Aitken, A.C. Determinanten und Matrizen, Mannheim 1969
- Albert, H. Theorie und Prognose in den Sozialwissen-
schaften. In: Logik der Sozialwissenschaften,
Hrsg. E. Topitsch, Köln/Berlin 1965, S. 126ff.
- Anderson, O. Probleme der statistischen Methodenlehre
in den Sozialwissenschaften, 4. Auflage,
Würzburg 1962
- Anthony, R.N. Planning and Control Systems - A Framework
for Analysis. Soldiersfield, Boston,
Mass.: Harvard U.P., 1965
- Ashby, W.R. General Systems Theory as a New Discipline.
In: Management in Perspective, Hrsg. W.E.
Schlender, W.G. Scott, A.C. Filley, Boston
1965, S. 392ff.
- Ashby, W.R. Design for a Brain. The Origin for Adaptiv
Behavior, 2. Auflage, London 1960
- Ashby, W.R. An Introduction to Cybernetics, 4. Auflage,
London 1961
- Baetge, J. Betriebswirtschaftliche Systemtheorie.
Regelungstheoretische Planungs-Überwachungs-
modelle für Produktion, Lagerhaltung und
Absatz, Opladen 1974

- Baetge, J. Regelung oder Steuerung ökonomischer Prozesse? In: ZfbF 1973, S. 263ff.
- Baetge, J. Regelungstheoretischer Ansatz zur operationalen Planung und Überwachung von Produktion und Lagerung. In: ZfbF 1972, S. 22ff.
- Baetge, J.,
Steenken, H.-U. Theoretische Grundlagen eines Regelungsmodells zur operationalen Planung und Überwachung betriebswirtschaftlicher Prozesse. In: ZfbF 1971, S. 593ff.
- Bechler, E. Zur güterwirtschaftlichen Theorie der internationalen Kapitalbewegung, Frankfurt/M. 1972
- Beer, S. Kybernetik und Management, 3. erw. Auflage, Frankfurt/M. 1967
- v. Bertalanffy, L. Zur Allgemeinen Systemlehre. In: Biologica Generalis, Bd. XIX, Heft 1, Wien 1949, S. 114ff.
- v. Bertalanffy, L. Biophysik des Fließgleichgewichts. Einführung in die Physik offener Systeme und ihre Anwendung in der Biologie (Übersetzung aus dem Englischen), Braunschweig 1953
- v. Bertalanffy, L. An Outline of General System Theory. In: The British Journal for the Philosophy of Science, Bd. I, Heft 2, Edinburgh 1950, S. 134ff.
- Boulding, K. General Systems Theory - The Skeleton of Science. In: General Systems, Bd. 1, 1956, S. 11ff.
- Brandes, H. Der Euro-Dollarmarkt, Wiesbaden 1968
- Brandt, S. Statistische Methoden der Datenanalyse, Mannheim 1968
- Braun, O. Zur Theorie des Devisenterminmarktes. In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, Band 177, 1965, S. 22ff. und 132ff.
- Bretzke, W.-R. Zur Frage der Überprüfbarkeit von Prognosen im Geschäftsbericht. In: Die Wirtschaftsprüfung, Heft 11/1974, S. 292ff.

- Brockhoff, K. Planung und Prognose in deutschen Großunternehmen. In: DB 18/1974, S. 838 ff.
- Bronstein, I.N., Taschenbuch der Mathematik, 8. Auflage, Semendjajew, K.A. Zürich/Frankfurt/m. 1968
- Brown, G. Smoothing, Forecasting, and Prediction, Englewoods Cliffs 1963
- Büschgen, H. Der Euro-Dollarmarkt als internationaler Geldmarkt. In: ZfB 1967, S. 97 ff.
- Bundesverband
Deutscher Banken Devisentermingeschäfte volkswirtschaftlich notwendig! In: Der langfristige Kredit, Heft 16/1974, 2. Ausgabe, S. 522 f.
- Busacker, R.G., Endliche Graphen und Netzwerke. Eine Saaty, T.L. Einführung mit Anwendungen, München/Wien 1968
- Buttler, G. Netzwerkplanung, Würzburg/Wien 1968
- Churchman, W.C. Einführung in die Systemanalyse, München 1970
- Daeves, K., Großzahl-Methodik und Häufigkeits-Analyse, 2. völlig überarbeitete und Beckel, A. stark erweiterte Auflage von "Großzahl-Forschung und Häufigkeits-Analyse", Weinheim 1958
- De Russo, P.M., State Variables for Engineers, Roy, R.J., New York/London/Sydney 1965
Close, Ch.M.
- Dietrich, G., Grundzüge der Matrizenrechnung, Stahl, H. Stuttgart 1964
- DIN 19226 Regelungstechnik und Steuerungstechnik. Begriffe und Benennungen, Mai 1968
- Doetsch, G. Anleitung zum praktischen Gebrauch der Laplace-Transformation und der z-Transformation, 3. Auflage, München/Wien 1967

- Edin, R. Wirkungsweise und Voraussetzungen der Prognose mittels Verweilzeitverteilungen. In: ZfB 1968, S. 743ff.
- Edin, R. Übergangsfunktionen in betriebswirtschaftlichen Systemen. In: ZfB 1969, S. 569ff.
- Edin, R. Dynamische Analyse betrieblicher Systeme. Ein Beitrag zur industriellen Planung, Berlin 1971
- Edin, R.,
Schmitt, H.J. Verweilzeitverteilungen und Prognosen. Einige empirische Ergebnisse. In: ZfbF 1969, S. 484ff.
- Ehrig, St.-Th. Devisentermingeschäfte als Instrument der Währungspolitik, Berlin 1973
- Ehrlicher, E.,
u.a. (Hrsg.) Kompendium der Volkswirtschaftslehre, Bd. 1, Göttingen 1969
- Einzig, P. The Euro-Dollar System, London 1964
- Emeljanov, S.V. Automatische Regelsysteme mit veränderlicher Struktur, München/Wien 1969
- Enrick, N.,
Schäfer, W. Entscheidungsorientierte Statistik, Heidelberg 1974
- v.Falkenhausen, H. Prinzipien und Rechenverfahren der Netzplantechnik, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Kiel 1968
- Faust, H.,
u. a. Prognose im Sparkassenbetrieb, München 1972
- Fisz, M. Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, 5. Auflage, Berlin 1970
- Förster, E.,
Egermeyer, F. Korrelations- und Regressionsrechnung, Berlin 1966
- Franken, R.,
Fuchs, H. Grundbegriffe zur Allgemeinen Systemtheorie. In: Systemtheorie und Betrieb, ZfbF, Sonderheft 3/1974, S. 23ff.
- Freemann, H. Discrete-Time Systems, An Introduction to the Theory, New York/London/Sydney 1965

- Fuchs, H. Steuerung und Regelung in betrieblichen Systemen. In: Systemtheorie und Betrieb, ZfbF, Sonderheft 3/1974, S. 83ff.
- Fuchs, H. Die Verallgemeinerung der Theorie offener Systeme als Grundlage zur Erforschung und Gestaltung betrieblicher Systeme, Diss., Köln 1971
- Fuchs, H. Systemtheorie. In: Handwörterbuch der Organisation, Hrsg. E. Grochla, Stuttgart 1969, Sp. 1618ff.
- Fuchs, H.,
Lehmann, H.,
Möhrstedt, K.E. Zur Bestimmung des Zeitverhaltens betrieblicher Systeme. In: ZfB 1972, S. 779. ff.
- Gahse, S. Mathematische Vorhersageverfahren und ihre Anwendung, München 1971
- Gantmacher, F.R. Matrizenrechnung. Teil I, Allgemeine Theorie, 2. berichtigte Auflage, Berlin 1965
- Geyer, H.,
Oppelt, W. Volkswirtschaftliche Regelungsvorgänge im Vergleich zu Regelungsvorgängen der Technik, München 1957
- Gnedenko, B. Lehrbuch der Wahrscheinlichkeitsrechnung, 3. Auflage, Berlin 1962
- Göldner, K. Mathematische Grundlagen für Regelungstechniker, Frankfurt/M. und Zürich 1969
- Graf, G. Zur formalen Theorie des Devisenterminmarktes, Berlin 1971
- Griffin, A.W.J. Multivariable Systeme und Systeme mit optimierender Regelung. In: Regelkreistheorie und Datenverarbeitung, Hrsg. D. Bell und A.W.J. Griffin, Berlin 1971, S. 229ff.
- Grochla, E. Systemtheorie und Organisationstheorie. In: ZfB 1970, S. 1ff.
- Gröbner, W. Matrizenrechnung, Mannheim 1966
- Gutenberg, E. Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1, "Die Produktion", 11. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York 1965

- Guth, W. Zur Problematik des Eurogeld- und Eurokapitalmarktes aus der Sicht der Banken. In: ZfK 22/1970, S. 17ff.
- Händle, F.,
Jensen, St. Systemtheorie und Systemtechnik, München 1974
- Hahn, O. Geld- und Devisenhandel, Stuttgart 1964
- Hampe, A. Statistik für Betriebswirte. Eine Einführung. Teil II, Stuttgart 1969
- Hanssman, F. Operations Research Techniques for Capital Investment, New York/London/Sydney 1968
- Heckmann, N.,
Schemmel, F. Die Anwendung der Regressionsrechnung zur Entwicklung quantitativer Prognosemodelle - ihre Möglichkeiten als Hilfsmittel der Unternehmensplanung. In: ZfbF 1971, S. 42ff.
- Hein, M. Die internationalen Geldmarktgeschäfte westdeutscher Banken, Berlin 1966
- Heinen, E. Industriebetriebslehre, Wiesbaden 1972
- Heinhold, J.,
Gaede, K.-W. Ingenieur-Statistik, München/Wien 1964
- Heisenberg, W. Der Teil und das Ganze, München 1969
- Hermesdorf, F. Lineare Operatoren. In: Automatisierung, Systemanalyse und Systemkontrolle, Hrg. Brennpunkt Kybernetik, TU Berlin, O.J., S. 1ff.
- Hertz, D.B. Risk Analysis in Capital Investment. In: HBR January-February 1964, S. 95ff.
- Hielscher, U. Das Optimale Aktienportefeuille, Darmstadt 1969
- Hochgesand, H. Theorie der Devisenspekulation, Berlin 1974
- IdW (Hrg.) Entwurf einer Stellungnahme zur Bilanzierung und Prüfung der Devisengeschäfte der Kreditinstitute. In: Die Wirtschaftsprüfung, Heft 1/2/1975, S. 56ff.

- James, G. Laplace-Transformationen, 2. Auflage, O.J. (1970)
- Janocha, P. Intervention und Kooperation der Zentralbanken auf den Devisenmärkten nach dem zweiten Weltkrieg. In: Kieler Studien Nr. 74 (E. Schneider, Hrg.), Tübingen 1966
- Jirasek, J. Systemdenken - zur Bewältigung der Komplexität in der Wirtschaft. In: Die Wirtschaftsprüfung, Heft 13/1974, S. 341ff.
- Jury, E.I. Theory and Application of the z-Transform Method, New York/London/Sydney 1964
- Kade, G., Jpsen, D., Hujer, R. Modellanalyse ökonomischer Systeme. Regelung, Steuerung oder Automatismus? In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, 1968, S. 1ff.
- Kade, G., Hujer, R. Sozialkybernetik, Düsseldorf/Wien 1974
- Kappler, E. Systementwicklung. Lernprozesse in betriebswirtschaftlichen Organisationen, Wiesbaden 1972
- Keidel, H. Analytisches "Management by Exception" in computergestützten Informationssystemen. In: DB 10/1975, S. 409 ff.
- Kellerer, H. Theorie und Technik des Stichprobenverfahrens, 3. Auflage, München 1963
- Kern, W. Der Betrieb als Faktorkombination. In: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre in programmierter Form. Hrg. H. Jacob, Wiesbaden 1969, S. 113ff.
- Kirchhain, G. Gefahren am Euromarkt. In: WISU 11/1974, S. 551ff.
- Kirsch, W. Die entscheidungs- und systemorientierte Betriebswirtschaftslehre. Wissenschaftsprogramm, Grundkonzeption, Wertfreiheit und Parteilichkeit. In: Wissenschaftstheorie und Betriebswirtschaftslehre. Eine methodologische Kontroverse. Hrg. G. Dlugos, u.a., Düsseldorf 1972, S. 153ff.

- Kirsch, W. Betriebswirtschaftspolitik und geplanter Wandel betriebswirtschaftlicher Systeme. In: Unternehmensführung und Organisation, Hrsg. W. Kirsch, Wiesbaden 1973, S. 15ff.
- Klingst, A. Einführung in die Matrizenrechnung. In: Anwendungen der Matrizenrechnung auf wirtschaftliche und statistische Probleme. Hrsg. A. Adam, u.a., Würzburg 1963, S. 9ff.
- Koch, H. Planung. In: HdB, 3. Auflage, Bd. 3, Stuttgart 1960, Sp. 4340ff.
- Koch, H. Betriebliche Planung, Wiesbaden 1961
- Kockelkorn, G. Verweilzeitverteilungen und Prognosen im betrieblichen Produktionsbereich. In: ZfbF 1971, S. 83ff.
- Köhler, R. Systemforschung und Marketing. Zum heuristischen und empirisch-kognitiven Beitrag des Systemansatzes für die Lösung von Marketing-Problemen. In: Systemforschung in der Betriebswirtschaftslehre. Hrsg. E. Jehle, Stuttgart 1975, S. 54ff.
- Kohlhoff, H. Die Marktmacht des Eurogeldes. In: ZfK 12/1974, S. 511ff.
- Koreimann, D. Systemanalyse, Berlin/New York 1972
- Kosiol, E.,
u.a. Zum Standort der Systemforschung im Rahmen der Wissenschaften. In: ZfbF 1965, S. 337ff.
- Kreyszig, E. Statistische Methoden und ihre Anwendung, Nachdruck der 4. Auflage, Göttingen 1974
- Krieg, W. Kybernetische Grundlagen der Unternehmensgestaltung, Bern/Stuttgart 1971
- Kuo, B.C. Linear Networks and Systems, New York, u.a., 1967
- Landgraf, Chr.,
Schneider, G. Elemente der Regelungstechnik, Berlin/Hidelberg/New York 1970

- Lange, O. Einführung in die ökonomische Kybernetik, (Übers. aus dem Polnischen), Tübingen 1970
- Langen, H. Der Betrieb als Regelkreis. In: Organisation und Rechnungswesen, Festschrift für E. Kosiol zu seinem 65. Geburtstag, Hrsg. E. Grochla, Berlin 1964, S. 85 ff.
- Langen, H. Die Prognose von Zahlungseingängen. Die Abhängigkeit der Bareinnahmen von Umsätzen und Auftragseingängen in dynamischer Betrachtung. In: ZfB 1964, S. 289 ff.
- Langen, H. Betriebliche Zahlungsströme und ihre Planung in dynamischer Sicht. In: ZfB 1965, S. 261 ff.
- Langen, H. Grundzüge einer betriebswirtschaftlichen Dispositionsrechnung. In: ZfB 1966, Ergänzungsheft 1, S. 71 ff.
- Langen, H. Preis- und konditionenpolitische Maßnahmen in der Rezession. In: Unternehmenspolitik bei schwankender Konjunktur, Hrsg. H. Jacob, Wiesbaden 1967, S. 43 ff.
- Langen, H. Einige Werkzeuge betrieblicher Konjunkturtheorie. In: ZfB 1967, S. 553 ff.
- Langen, H. Der Betriebsprozeß in dynamischer Darstellung. In: ZfB 1968, S. 867 ff.
- Langen, H. Die betriebswirtschaftliche Dispositionsrechnung im Dienste der Unternehmensführung. In: Unternehmensführung auf neuen Wegen, Hrsg. W. Stöhr, Wiesbaden 1968, S. 231 ff.
- Langen, H., u.a. Unternehmensplanung mit Verweilzeitverteilungen. Eine Anleitung für Praktiker, Berlin 1971
- Langen, H., Weinthaler, F. Prognose mit Hilfe von Verweilzeitverteilungen. In: Prognoserechnung, Hrsg. P. Mertens, Würzburg/Wien 1973, S. 113 ff.
- Leonhard, W. Einführung in die Regelungstechnik. Lineare Regelvorgänge, Braunschweig 1969
- Leonhard, W. Einführung in die Regelungstechnik. Nicht-lineare Regelvorgänge, Braunschweig 1970

- Leonhard, W. Die selbsttätige Regelung, 3. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York 1962
- Leonhard, W. Diskrete Regelsysteme, Mannheim 1970
- Lindahl, E. Studies in the Theory of Money and Capital, London 1939
- Lindgren, B.W. Statistical Theory, Second Edition, New York/London 1968
- Lipfert, H. Nationaler und internationaler Zahlungsverkehr, 2. Auflage, Wiesbaden 1970
- Lipfert, H. Devisenhandel. Devisengeschäfte der Banken, Exporteure und Importeure, Frankfurt/M. 1958
- Lipfert, H. Internationaler Devisen- und Geldhandel, 3. Auflage, Frankfurt/M. 1969
- Lorenz, P. Der Trend, Berlin 1970
- Lüttgen, H. Exponential Smoothing für die Prognoserechnung bei exponentiell fallendem Trend. In: Ablauf- und Planungsforschung, Heft 2, 1965, S. 323ff.
- Mac Cormac, J.K.M. Adaptive Regelsysteme (Systeme mit hohem Leistungsgewinn und modellbezogene Systeme). In: Regelkreistheorie und Datenverarbeitung, Hrsg. D. Bell und A.W.J. Griffin, Berlin 1971, S. 217ff.
- Mandel, H. Euro-Devisen - ihre Entstehung und Verwendung. In: ÖBA 1966, S. 118ff.
- Matt, G. Die schrittweise Regressionsanalyse und ihre Anwendungsmöglichkeit im kaufmännischen Bereich. In: AKOR Ablauf- und Planungsforschung, Band 4, 1963, S. 254ff.
- Mayer, H. Der Eurogeldmarkt als Recycling-Medium. In: Wirtschaftsdienst 3/1975, S. 136ff.
- Meffert, H. Zum Problem der betriebswirtschaftlichen Flexibilität. In: ZfB 1969, S. 779ff.
- Meffert, H. Systemtheorie aus betriebswirtschaftlicher Sicht. In: Systemanalyse in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Hrsg. E.-E. Schenk, Berlin, o.J. (1971), S. 174ff.

- Mellerowicz, K. Planung und Plankostenrechnung, Bd. 1, Freiburg 1961
- Menges, G. Stichproben aus endlichen Gesamtheiten. Theorie und Technik, Frankfurt/M. 1959
- Menges, G. Grundriß der Statistik, Teil 1: Theorie, Köln/Opladen 1968
- Mertens, P. Netzwerktechnik als Instrument der Planung. In: ZfB 1964, S. 382ff.
- Mertens, P. Prognoserechnung-Einführung und Überblick. In: Prognoserechnung, Hrsg. P. Mertens, Würzburg/Wien 1973, S. 15ff.
- Merz, L. Grundkurs der Regelungstechnik. Einführung in die praktischen und theoretischen Methoden, 4. Auflage, München/Wien 1970
- Mirow, H.M. Kybernetik - Grundlage einer allgemeinen Theorie der Organisation, Wiesbaden 1969
- Mood, A.M., Graybill, F.A. Introduction to the Theory of Statistics, Second Edition, New York, u.a. 1963
- Müller-Merbach, H. Operations Research, Berlin/Frankfurt/M. 1969
- Neldner, M. Die Kursbildung auf dem Devisenterminmarkt und die Devisenterminpolitik der Zentralbanken, Berlin 1970
- Neumeyer, L. Zum Problem der Ermittlung von Liquidationsspektren und ihrer Stabilität im Zeitablauf, Diss., Mannheim 1966
- Ogata, K. State Space Analysis of Control Systems, Englewood Cliffs 1967
- Opp, K.-D. Kybernetik und Soziologie, Berlin 1970
- Oppelt, W. Kleines Handbuch technischer Regelungsvorgänge, 5. Auflage, Weinheim 1972
- O. V. Devisentermingeschäfte schützen den Außenhandel vor Wechselkursrisiken. In: Wertpapier 20/1974, S. 791ff.
- O. V. Beschränkungen des Devisenhandels durch Grundsatz I a gemäß KWG. In: Bank-Betrieb 10/1974, S. 422f.

- Pestel, E.,
Kollmann, E. Theorie geregelter Systeme. Grundlagen
der Regelungstechnik, 2. Auflage,
Braunschweig o.J. (1968)
- Pfanzagl, J. Allgemeine Methodenlehre der Statistik.
Band I und II, Berlin 1962
- Pönningshaus, S. Betriebswirtschaftliche Multiplikatoren.
In: ZfbF 1967, S. 659ff.
- Popper, K.R. Logik der Forschung, 3. Auflage, Tübingen
1969
- Popper, K.R. Prognose und Prophetie in den Sozial-
wissenschaften. In: Logik der Sozial-
wissenschaften, 6. Auflage, Hrg. E.
Topitsch, Berlin 1970, S. 113ff.
- Reichenbach, H. Der Aufstieg der wissenschaftlichen
Philosophie, Übertragung von M. Reichen-
bach, Berlin 1951
- Reif, K. Bedarfsvorhersagen mittels mathematisch-
statistischer Verfahren, IBM Fachbibliothek
1966, IBM Form 81518
- Renyi, A. Wahrscheinlichkeitsrechnung, 2. Auflage,
Berlin 1966
- Sachs, L. Statistische Auswertungsmethoden, 2. Auf-
lage, Berlin 1966
- Samal, E. Grundriß der praktischen Regelungstechnik,
Band I, München/Wien 1971
- Sauer, M. Planung, langfristige. In: Management
Enzyklopädie, Bd. 4, München 1971,
S. 1130ff.
- Schäfer, W. Der Euro-Dollarmarkt, Tübingen 1971
- Schäfer, W. Grundzüge des Euro-Geldmarktes. In: WISU
3/1974, S. 111 ff.
- Schaich, E.,
u.a. Statistik I für Volkswirte, Betriebs-
wirte und Soziologen, München 1974
- Schanz, G. Funktionalisierung der Wissenschaft?
Marginalien zum Systemdenken in der Be-
triebswirtschaftslehre. In: ZfbF 1974,
S. 544ff.

- Schanz, G. Traditionelle Wissenschaftspraxis und systemtheoretisch-kybernetische Ansätze. In: Systemforschung in der Betriebswirtschaftslehre, Hrg. E. Jehle, Stuttgart 1975, S. 1ff.
- Schiemenz, B. Steuerungs- und regelungsorientierte Anwendung von Entscheidungsmodellen. In: BFuP 1971, S. 709ff.
- Schiemenz, B. Optimale adaptive Devisenarbitrage. In: Zeitschrift für Operations Research, Band 17, 1973, S. B 97ff.
- Schiemenz, B. Regelungstheoretische Grundkonzepte und ihre Anwendung zur Gestaltung von Produktions-Lagerhaltungs-Systemen. In: ZfbF 1972, S. 434ff.
- Schiemenz, B. Die Leistungsfähigkeit einfacher betrieblicher Entscheidungsprozesse mit Rückkopplung. In: ZfB 1971, S. 107ff.
- Schiemenz, B. Regelungstheorie und Entscheidungsprozesse - Ein Beitrag zur Betriebskybernetik, Wiesbaden 1972
- Schiemenz, B. Die mathematische Systemtheorie bei der Bildung betriebswirtschaftlicher Modelle. In: ZfB 1970, S. 769ff.
- Schiemenz, B. Steuerung statt Regelung ökonomischer Prozesse? In: ZfbF 1973, S. 273ff.
- Schlitt, H. Stochastische Vorgänge in linearen und nichtlinearen Regelkreisen, Braunschweig 1968
- Schlitt, H. Systemtheorie für regellose Vorgänge, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1960
- Schmitt, H.J. Die Planrevision in dynamischen Abgangsfolgemodellen. In: BFuP 1968, S. 24ff.
- Schneeweiß, Chr. Anwendung der Wiener'schen Filtertheorie auf Probleme der Produktion und Lagerhaltung. In: Ufo 1969, S. 227ff.
- Schneeweiß, Chr. Berechnung der Produktionspolitik von Produktions-Lagerhaltungsmodellen unter Verwendung der Wiener'schen Filtertheorie. In: Ufo 1970, S. 125ff.

- Schneeweiß, Chr. Regelungstechnische\stochastische Optimierungungsverfahren in Unternehmensforschung und Wirtschaftstheorie, Berlin/Heidelberg/New York 1971
- Schneeweiß, H. Ökonometrie, Würzburg/Wien 1971
- Schneider, E. Zahlungsbilanz und Wechselkurs, Tübingen 1968
- Scholz, W. Die Bilanzierung und Prüfung der Devisengeschäfte der Kreditinstitute. In: Die Wirtschaftsprüfung, Heft 1/2/1975, S. 25ff.
- Schröder, J. Zur Theorie der Devisenterminmärkte, Berlin 1969
- Schröder, M. Einführung in die kurzfristige Zeitreihenprognose und Vergleich der einzelnen Verfahren. In: Prognoserechnung, Hrg. P. Mertens, Würzburg/Wien 1973, S. 21ff.
- Schütz, A. Das Devisengeschäft der Banken - Gedanken zur Kontrolle und Organisation des Rechnungswesens. In: Bank-Betrieb 10/1974, S. 397ff.
- Schwarz, H. Einführung in die moderne Systemtheorie, Braunschweig 1969
- Schwarz R., Friedland, B. Linear Systems, New York, u.a., 1965
- Schweim, J. Integrierte Unternehmensplanung, Bielefeld 1969
- Schwilling, W. Die kursbildenden Faktoren am Devisenmarkt, Diss., Köln 1963
- Simon, H.A. On the Application of Servomechanism Theory in the Study of Production Control. In: Econometrica 1952, S. 247ff.
- Solodownikow, W.W. Einführung in die statistische Dynamik linearer Regelungssysteme, (Übers. aus dem Russischen), München/Wien/Berlin 1963
- Spiegel, M.R. Theory and Problems of Statistics, New York 1961

- Szameitat, K.,
Koller, S. Über den Umfang und die Genauigkeit von
Stichproben. In: Wirtschaft und Statistik
1958, S. 10ff.
- Tichy, G. Ölkosten - ein Transferproblem. In: Spar-
kasse 2/1975, S. 29ff.
- Timm, J.F. Optimaler internationaler Devisen- und
Geldhandel, Diss., Darmstadt 1970
- Tou, J. Modern Control Theory, New York, u.a.
1964
- Trautmann, W. Kissingers Mammutfonds. In: ZfK 1/1975,
S. 65ff.
- Uhlig, J. Londoner Euro-Löcher. In: ZfK 23/1974,
S. 1081f.
- Ulrich, H. Die Unternehmung als produktives soziales
System. Grundlagen der allgemeinen Unter-
nehmenslehre, 2. Auflage, Bern/Stuttgart
1970
- Vich, R. z-Transformation, Theorie und Anwendung,
Berlin 1964
- Wallis, W.A.,
Roberts, H.V. Methoden der Statistik, Anwendungsbereiche,
400 Beispiele, Verfahrenstechniken. (Original:
Statistics, A New Approach. Glencoe III.:
The Free Press 1956), Reinbeck 1969
- Watzinger, F. Der Devisenhandel. Unveröffentlichter Vor-
trag vor dem Institut für Bankwirtschaft
der Universität München, 24.1.1974
- Wedekind, H. Ein Vorhersagemodell für sporadische Nach-
fragemengen bei der Lagerhaltung. In: Ab-
lauf- und Planungsforschung 9/1968, S. 1ff.
- Weinberg, F. Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung
und Statistik sowie Anwendungen im Operations
Research, Berlin/Heidelberg/New York 1968
- Weiss, A. Marktforschung für Investitionsgüter. In:
Management Enzyklopädie, Bd. 4, München
1971, S. 469ff.
- Wetzel, W.,
Skarabis, H.,
Naeve, P. Mathematische Propädeutik für Wirtschafts-
wissenschaftler, Bd. I: Lineare Algebra,
Berlin 1968

- Wetzel, W. Exponentiell gewichtete, univariable Prognosemodelle. In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik 181, Heft 1, 1967, S. 33 ff.
- Wetzel, W. Univariable mikroökonomische Prognosemodelle mit exponentieller Gewichtung der Beobachtungswerte. In: Metrika 6, Heft 1/1963, S. 155 ff.
- Wiese, K.-H. Exponential Smoothing - eine Methode der statistischen Bedarfsvorhersage, IBM Fachbibliothek 1964, Form 78129
- Willems, J. The Analysis of Feedback Systems, Cambridge, u.a., 1971
- Witte, E. Finanzplanung der Unternehmung. Prognose und Disposition, Hamburg 1974
- Wittgen, R. Die Geldpolitik der Geschäftsbanken, Frankfurt/M. 1965
- Wittgen, R. Gewinnoptimierung im Devisen-Eigengeschäft von Kreditinstituten. In: ZfB 1968, S. 137 ff.
- Wittgen, R. Währungsspekulation - Krisenursache oder Krisensymptom? In: ÖBA V/1974, S. 164 ff.
- Wittgen, R. Devisenspekulation. In: Manager Magazin, August 8/1974, S. 19 ff.
- Wittgen, R. Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, München 1974
- Wittgen, R. Währungsrisiko und Devisenkurssicherung, Frankfurt/M. 1975
- Woitschach, M. Anmerkungen zur Regressionsanalyse. In: IBM Nachrichten 219, Februar 1974, S. 55 ff.
- Zurmühl, R. Matrizen und ihre technischen Anwendungen, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1964
- Zypkin, J.S. Adaption und Lernen in kybernetischen Systemen, (Übers. aus dem Russischen), München/Wien 1970

L e b e n s l a u f

Name: Michael B a c h e r

geboren: 13. September 1946 in Schorndorf

Eltern: Erwin Bacher, Direktor i.R.
Johanna Bacher, geb. Leiter

Schulbildung: 1953 - 1957 Volksschule Kuchen
1957 - 1964 Gymnasium Geislingen
1964 - 1966 Wirtschaftsgymnasium Göppingen
Herbst 1966 Reifeprüfung

Praktische Tätigkeit: Herbst 1966 - Frühjahr 1967 technisches
Vorpraktikum bei der Werkzeugmaschinen-
fabrik Böhlinger GmbH. in Göppingen

Insgesamt 17 Wochen kaufmännisches Fach-
praktikum während der Semesterferien meiner
Studienzeit in Darmstadt

Studium: SS 1967 - WS 1971/72 Studium an der
Technischen Hochschule Darmstadt mit
Examen zum Diplom-Wirtschaftsingenieur

Ab SS 1972 Nachdiplomstudium an der
Universität München

Tätigkeit nach Diplomprüfung: Mai - Dezember 1972 Nebentätigkeit bei der
Südosteuropa-Gesellschaft in München als
Assistent des Geschäftsführers

Von Juli 1973 bis Januar 1974 wissen-
schaftliche Hilfskraft mit Abschluß am
Institut für Bankwirtschaft der Universität
München

Seit Februar 1974 Vertreter einer wissen-
schaftlichen Assistentenstelle an dem-
selben Institut

